



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
EDIFICAÇÕES ATRAVÉS DO MÉTODO PRESCRITIVO**

Marcos Vinícius Bigolin

Lajeado, dezembro de 2018.

Marcos Vinícius Bigolin

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES ATRAVÉS DO MÉTODO PRESCRITIVO

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, dezembro de 2018

Marcos Vinícius Bigolin

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES ATRAVÉS DO MÉTODO PRESCRITIVO

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rodrigo Spinelli - orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dr. Odorico Konrad
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Profa. Ma. Betina Hansen
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, dezembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e disposição para que todas as tarefas pertinentes a este trabalho pudessem ser cumpridas, bem como pela força concedida para a realização desta graduação.

Ao meu professor orientador Prof. Me. Rodrigo Spinelli, pelos ensinamentos em cada orientação ao longo destes dois semestres, pela paciência, dedicação, esforço e colaboração no desenvolvimento de ideias e sugestões pertinentes ao trabalho. Seu auxílio foi de extrema importância no alcance dos meus objetivos.

A esta universidade, pela colaboração e disposição de materiais auxiliares, bem como a todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, em especial aos avaliadores deste trabalho, Prof. Dr. Odorico Konrad e Profa. Ma. Betina Hansen, pelos apontamentos e sugestões de melhorias, os quais foram de grande valia para a contribuição deste trabalho.

A minha família, pela compreensão, incentivo e apoio incondicional, e por serem fonte de inspiração e meu ponto de equilíbrio na não desistência dos meus sonhos. Agradeço também por serem minha base e minha motivação para crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas e amigos conquistados durante a faculdade. A aqueles que estavam comigo nas batalhas diárias, nas alegrias e nas tristezas, dos quais levarei para sempre no coração e no pensamento.

E a todos que de qualquer forma fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

RESUMO

Grande parte das edificações não é projetada para que o conforto térmico seja atendido naturalmente, necessitando de equipamentos consumidores de energia elétrica para o bem-estar dos seus ocupantes. A partir da Lei da Eficiência Energética surgiu a preocupação em normatizar um regulamento que avaliasse o conforto térmico dos ambientes internos das edificações. Intitulado como Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais, o RTQ-R entrou em vigor para que as edificações visem iniciativas para o menor consumo de energia elétrica atendendo aos requisitos de conforto térmico. O presente trabalho avaliou uma edificação multifamiliar na cidade de Lajeado/RS a fim de classificá-la, segundo os níveis de eficiência energética constantes no RTQ-R. O projeto original da edificação alcançou nível “C” em eficiência, sendo um nível mediano em relação ao potencial de conforto térmico, motivado principalmente ao não atendimento de alguns pré-requisitos constantes no regulamento. Consideraram-se algumas alterações no projeto original, a fim de satisfazer todos os quesitos de conforto térmico e atingir o nível máximo “A”. Os resultados do experimento computacional demonstraram que com alguns ajustes no projeto original, como inserção de uma lâmina de isolamento térmico nas paredes externas e nas tubulações de água quente, aumento das dimensões das esquadrias dos ambientes de permanência prolongada e a colocação de um sistema de aquecimento solar para os chuveiros, todos os apartamentos da edificação obtiveram um ótimo desempenho térmico, classificando a edificação com nível “A” em eficiência energética e atendendo aos requisitos do RTQ-R e das normas NBR 15220/2005 e 15575/2013.

Palavras-chave: Eficiência energética. Conforto térmico. RTQ-R.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de energia elétrica mundial por fonte	22
Figura 2 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	26
Figura 3 - Carta bioclimática adaptada de Givoni.....	27
Figura 4 - Carta bioclimática para o município de Lajeado/RS.....	29
Figura 5 - Estratégias de conforto térmico para o município de Lajeado/RS	30
Figura 6 - Selo PBE Edifica	44
Figura 7 - Indicação da direção dos ventos para o município de Lajeado.....	47
Figura 8 - Fachada principal do edifício multifamiliar	50
Figura 9 - Fachada principal do edifício multifamiliar	51
Figura 10 - Fachada Norte do edifício multifamiliar	51
Figura 11 - Absortância sola de tintas acrílicas semi-brilho	59
Figura 12 – Propriedades térmicas da cobertura	62
Figura 13 – Absortância solar de telhas de fibrocimento.....	62
Figura 14 – Transmitância térmica do vidro	66
Figura 15 – Fluxograma das etapas para determinação da eficiência energética.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estratégias para cada zona bioclimática	28
Quadro 2 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência.....	33
Quadro 3 – Classificação no nível de eficiência para a pontuação obtida	33
Quadro 4 - Indicadores de consumo dos APPs por UH (bloco cerâmico estrutural) .	73
Quadro 5 - Indicadores de consumo dos APPs por UH (tijolo maciço)	74
Quadro 6 - Classificação após avaliar os pré-requisitos dos ambientes (bloco cerâmico estrutural).....	76
Quadro 7 - Classificação dos APPs após avaliar os pré-requisitos dos ambientes (tijolo maciço)	76
Quadro 8 - Classificação das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais da UH (bloco cerâmico estrutural).....	78
Quadro 9 - Classificação das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais da UH (tijolo maciço).....	78
Quadro 10 - Classificação geral da envoltória após avaliar os pré-requisitos gerais	79
Quadro 11 - Análise dos pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	80
Quadro 12 - Nível de eficiência energética com o sistema de aquecimento a gás ...	81
Quadro 13 - Nível de eficiência energética com o sistema de aquecimento elétrico.	82
Quadro 14 - Esquadrias sugeridas.....	83
Quadro 15 – Pré-requisitos de iluminação e ventilação com esquadrias sugeridas..	84
Quadro 16 – Classificação geral com alteração nas esquadrias.....	84
Quadro 17 – Classificação geral com alteração nas esquadrias e isolamento térmico das paredes.....	86
Quadro 18 – Classificação geral com todas as alterações sugeridas	87
Quadro 19 – Comparação do ganho de eficiência energética.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no mundo.....	23
Tabela 2 - Composição setorial do consumo de eletricidade	24
Tabela 3 - Absortância (α) para radiação solar	35
Tabela 4 - Pré-requisitos para absortância solar	36
Tabela 5 - Pré-requisitos para absortância solar e transmitância térmica	37
Tabela 6 - Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica	39
Tabela 7 - Áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente	41
Tabela 8 - Coeficientes por região geográfica.....	53
Tabela 9 - Limites de transmitância térmica para ZB 2	55
Tabela 10 – Transmitância térmica de cada tipologia de bloco cerâmico estrutural ..	55
Tabela 11 – Transmitância térmica por parede e final de cada APP.....	55
Tabela 12 - Limites de capacidade térmica para ZB 2	56
Tabela 13 – Capacidade térmica de cada tipologia do bloco cerâmico estrutural.....	56
Tabela 14 – Capacidade térmica das paredes externas e final de cada APP	57
Tabela 15 – Capacidade térmica das paredes externas e internas, e final de cada APP	58
Tabela 16 – Consolidação das tipologias do edifício.....	59
Tabela 17 - Propriedades térmicas das paredes com isolamento térmico	85

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Transmitância térmica.....	36
Equação 2 - Capacidade térmica para camadas homogêneas.....	38
Equação 3 - Capacidade térmica para camadas heterogêneas.....	38
Equação 4 - Profundidade do ambiente para determinação da iluminação	40
Equação 5 - Percentual de abertura para ventilação	41
Equação 6 - Atendimento ao pré-requisito de ventilação cruzada	42
Equação 7 - Determinação da pontuação total do nível de eficiência da UH.....	53
Equação 8 – Determinação da variável de sombreamento.....	65
Equação 9 - Proporção das aberturas para ventilação cruzada.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
RAC-R	Manual de Aplicação e dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
UH	Unidade Habitacional Autônoma
BEN	Balanço Energético Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo geral	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativa e relevância do trabalho.....	16
1.4 Delimitação do trabalho.....	17
1.5 Estrutura do trabalho	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Panorama do consumo energético no Brasil e no mundo	21
2.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro	25
2.3 Determinação do nível de eficiência energética das edificações	31
2.4 Pré-requisitos para obtenção do nível máximo de etiquetagem.....	34
2.4.1 Absortância à radiação solar	35
2.4.2 Transmitância térmica	36
2.4.3 Capacidade térmica das superfícies.....	37
2.4.4 Iluminação natural.....	39
2.4.5 Ventilação natural.....	41
2.5 Como obter a etiqueta PBE Edifica	43
2.6 Materiais da construção civil	45
2.6.1 Materiais de isolamento térmico	46
2.7 Dados do município de Lajeado/RS.....	47
3 MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 Descrição do objeto de estudo	49
3.2 Método.....	52
3.3 Parâmetros significativos ao RTQ-R	54

3.3.1 Transmitância térmica	54
3.3.2 Capacidade térmica.....	56
3.3.3 Absortância solar	58
3.4 Tipologias	59
3.5 Planilha de análise da envoltória das UHs.....	60
3.5.1 Zona Bioclimática.....	60
3.5.2 Ambientes de Permanência Prolongada (APPs)	60
3.5.3 Situação piso e cobertura.....	61
3.5.4 Cobertura	61
3.5.5 Paredes externas.....	63
3.5.6 Características construtivas	63
3.5.7 Áreas de paredes externas.....	63
3.5.8 Área de aberturas externas	64
3.5.9 Características das aberturas	64
3.5.10 Características gerais	65
3.5.11 Características de isolamento térmico.....	66
3.6 Planilha de análise do sistema de aquecimento de água.....	66
3.6.1 Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água.....	67
3.6.2 Sistema de aquecimento a gás	67
3.6.3 Sistema de aquecimento elétrico.....	68
3.7 Planilha de análise de bonificações	68
3.7.1 Ventilação natural.....	69
3.7.1.1 Porosidade.....	69
3.7.1.2 Dispositivos especiais	69
3.7.1.3 Centro geométrico.....	69
3.7.1.4 Permeabilidade.....	70
3.7.2 Iluminação natural.....	70
3.7.2.1 Profundidade	70
3.7.2.2 Refletância	70
3.7.3 Outras bonificações	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
4.1 Envoltória das UHs antes de avaliar os pré-requisitos.....	73
4.2 Pré-requisitos da envoltória dos APPs	75
4.2.1 Transmitância e capacidade térmica	75
4.2.2 Iluminação e ventilação natural	75
4.3 Pré-requisitos da envoltória das UHs.....	77
4.4. Envoltória das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais	77

4.5 Sistema de aquecimento de água	80
4.6 Bonificações	83
4.7 Sugestões de adaptação ao projeto original e obtenção no nível “A”	83
4.8 Comparação entre projeto original e adaptações	88
5 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

A fim de satisfazer as necessidades mais básicas dos seres humanos, a ciência se encaminhou, com o passar do tempo, para o desenvolvimento de processos que sejam menos agressivos ao seu bem-estar, visando à proteção do ambiente em que vivem. Para Elkington e Hailes (2004) desde o início da humanidade, recursos naturais como madeira, pele de animais e pedras já eram utilizados para desenvolver as primeiras habitações e moradias. Ao longo dos anos foram criadas técnicas construtivas que facilitariam os processos e aumentariam em larga escala a capacidade de construção.

Através da revolução industrial, passou-se a desenvolver materiais que são chamados de materiais de construção convencionais ou industrializados. No entanto, para Barbosa (2005), apesar de esses materiais serem utilizados para construções fantásticas, que muitas vezes não é possível com outras técnicas mais antigas, o retorno negativo que eles trazem ao meio ambiente é algo preocupante, por fazer com que o setor da construção civil exerça grande influência nos impactos ao meio ambiente e fazendo com que se repense no caso da utilização de materiais naturais, tornando a construção civil mais sustentável.

Para satisfazer a esse princípio de construção sustentável, um dos aspectos mais importantes da construção diz respeito à eficiência energética das edificações, trazendo à tona a questão do desempenho térmico, constante nas principais normas de construção, a NBR 15220/2005 e a NBR 15575/2013. Segundo Soares, Silva e Cunha (2017), ambas as normas brasileiras relatam características de interesse ao setor da construção civil e são focadas em desempenho térmico, como a

determinação das propriedades térmicas dos materiais de construção e zoneamento e suas estratégias bioclimáticas brasileiras.

Para a Eletrobras/Procel (2013), a questão da eficiência energética tem grande influência para a construção civil sustentável. Por isso, juntas criaram o programa PBE Edifica e regulamentaram os métodos para a determinação do nível de eficiência energética das edificações através do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C), concedendo selos que identificam o nível de eficiência energética em relação à envoltória da edificação, aos sistemas de condicionamento de ar e iluminação.

O programa, segundo Bavaresco et al. (2017), relaciona as construções e classifica-as de acordo com níveis (de “A” a “E”) de eficiência energética. Segundo eles a determinação do nível e a classificação da edificação podem ser feitas através do Método Prescritivo e do Método de Simulação. No primeiro caso, o nível é determinado através de uma equação, onde são atribuídos pesos, em valores numéricos, para cada requisito citado pelo método. Já o segundo caso, utiliza um programa computacional para fazer a simulação energética da edificação.

Além da utilização de materiais recicláveis, a construção civil vem abrindo uma gama de opções de utilização de materiais naturais a fim de redimir a extração dos recursos naturais, diminuindo o consumo de materiais industrializados, em que a produção desses materiais gera inúmeros impactos ambientais.

Desta forma, este trabalho visa aplicar as técnicas instrutivas do RTQ-R para a determinação da eficiência energética em uma edificação multifamiliar, fazendo comparações entre métodos construtivos e diferentes sistemas de aquecimento de água e implementando melhorias no projeto original afim de encontrar níveis mais altos de eficiência energética.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral classificar uma edificação multifamiliar de 4 (quatro) pavimentos localizada no município de Lajeado/RS, segundo o nível de eficiência energética, desenvolvendo o método prescritivo do RTQ-R, sugerindo alterações no projeto original, a fim de alavancar o nível de eficiência e atingir o máximo possível.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são descritos como:

- Aplicar as técnicas utilizadas para a determinação do nível de eficiência energética através do método prescritivo do RTQ-R no projeto de uma edificação multifamiliar localizada no município de Lajeado/RS;
- Avaliar a envoltória, o sistema de aquecimento de água e as possíveis bonificações da edificação a fim de encontrar o nível de eficiência energética de cada apartamento e posteriormente da edificação;
- Comparar o nível de eficiência energética entre a utilização do bloco cerâmico estrutural e do tijolo maciço, determinando as propriedades térmicas das paredes externas de cada ambiente de permanência prolongada da edificação segundo a NBR 15220;
- Propor mudanças no projeto original a fim alavancar a edificação para um nível mais alto de eficiência energética.

1.3 Justificativa e relevância do trabalho

A preocupação com o meio ambiente cresce a cada momento, principalmente com o desenvolvimento de novas metrópoles e aglomerações de centros urbanos. Ao mesmo tempo, cresce a responsabilidade das construtoras em aperfeiçoar os métodos construtivos a fim de alavancar a utilização de materiais sustentáveis, mantendo o conforto térmico das construções através de metodologias naturais.

Portanto, o presente trabalho pretende mostrar, através da aplicação do método prescritivo do RTQ-R, comparações em relação à eficiência energética, com o intuito de revelar a importância da utilização de novas composições de materiais que aumentem o conforto térmico dos ambientes ocupados, e o impacto negativo que pode ser evitado no futuro das próximas gerações.

Para isso, um ponto importante do trabalho, com o objetivo de estimular as novas gerações, diz respeito à eficiência energética e ao selo PBE Edifica, que indica o nível de eficiência energética de cada edificação. A avaliação feita para cada residência para obtenção do selo tem a finalidade de quantificar o consumo de energia da mesma, além de alavancar o projeto residencial e torná-lo diferenciado, e assim incentivar as novas construções na busca dessas qualidades construtivas.

1.4 Delimitação do trabalho

A determinação do nível de eficiência energética citado neste trabalho tem como limitação o método prescritivo do RTQ-R para determinação do nível de eficiência energética. Não será utilizado o método de simulação também constante no manual de aplicação do RTQ-R. Ao final a comparação feita será limitada entre a materialidade original do projeto e a nova materialidade sugerida pelo autor como alterações do projeto original.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, sendo o primeiro capítulo destinado à introdução dos assuntos relevantes para o desenvolvimento do mesmo. Também estão presentes neste capítulo as descrições dos objetivos gerais e específicos, as justificativas e relevâncias e as delimitações do trabalho. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, trazendo uma análise panorâmica do consumo energético no Brasil e no mundo, apresentando o zoneamento e estratégias bioclimáticas brasileiras e explicando os parâmetros para a determinação do nível de eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-R, a fim de aplicá-los no projeto de uma edificação multifamiliar. Neste capítulo também são apresentados alguns dados, principalmente climatológicos, do município de

Lajeado/RS, onde o projeto analisado está inserido, bem como um breve resumo de alguns tipos de materiais naturais com possível utilização para isolamento térmico das edificações.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para a determinação do nível de eficiência energética do projeto analisado, segundo o RTQ-R, assim como apresenta o projeto e sua materialidade para aplicação nas fórmulas do método prescritivo. O capítulo quatro é destinado à exposição dos resultados encontrados no trabalho e discussões. Neste capítulo também estão expostas as sugestões de alteração do projeto original, a fim de alavancar o nível de eficiência energética e atingir nível “A”, bem como as comparações com o projeto original.

O quinto capítulo conta com a conclusão do trabalho e apresenta a importância do mesmo para o autor. Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas pelo autor, para a realização do presente trabalho. Também estão apresentados, ao final do trabalho, documentos em forma de Anexos e Apêndices a fim de complementar a argumentação feita pelo autor ao longo do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O mercado da construção civil encontra-se cada vez mais voltado para a eficiência do desempenho e do conforto térmico, sendo obrigado a cumprir os requisitos dispostos em algumas normas brasileiras como a NBR 15575 e a NBR 15220. Também está cada vez mais presente nesse setor, a preocupação com o meio ambiente e a busca incessante pela sustentabilidade.

Segundo Correa (2009), todos os setores relativos aos sistemas da construção civil devem buscar a sustentabilidade, integrando o conjunto de todas as ações em prol do bem social, econômico e ambiental. Para ele, conseguir que um empreendimento seja considerado sustentável significa que ele alcançou três requisitos básicos: a gestão da qualidade, fazendo com que os níveis de excelência sejam atingidos; a legalidade de todos os processos da empresa, não alimentando o ciclo da informalidade; e a implantação de tecnologias, tanto em materiais e equipamentos, quanto em capacitação da mão-de-obra.

Responsável por grande parte dos impactos ao meio ambiente, a construção civil é o setor que mais interfere no desenvolvimento do país. Segundo Spadotto et al. (2011), os reflexos ao local e região onde se instalam as obras, são direta e indiretamente ligados pelas atividades da construção. O setor possui um grande peso nas emissões de gás carbônico, utiliza muitos recursos naturais existentes no ambiente, modifica as paisagens e gera resíduos demasiados, causando diversos impactos ambientais em todos os processos construtivos (SPADOTTO et al., 2011).

O atual contexto vivenciado pela crise energética foi originado com o passar dos séculos, causado pelo próprio homem, ao explorar os recursos naturais de maneira totalmente desequilibrada e ao adquirir, cada vez mais, a ambição do consumismo insensato e irregular. Segundo Vieira et al. (2015), a capacidade de produção de energia elétrica tem sido, nas últimas décadas, inferior ao despendido para consumo. Graças ao armazenamento superior nas usinas hidrelétricas para a distribuição, o Brasil não precisou fazer racionalização antes do tempo.

Publicada em 2001 e ordenada pelo número 10295/2001, a Lei da Eficiência Energética entrou em vigor com o objetivo de estimular a utilização de produtos menos poluentes e mais eficientes, além de orientar a preservação ambiental e o desenvolvimento tecnológico, dispondo sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Fundamentalmente, a lei determina os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética, gerados através de máquinas e aparelhos, bem como de edificações construídas no país (BRASIL, 2001).

Já em 2003, a parceria feita pela Eletrobrás/Procel, proporcionou a regularização do programa Procel Edifica, objetivando o desenvolvimento da divulgação dos conceitos aplicados à eficiência energética em edificações. O documento que introduz o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), elaborado pela Eletrobras/Procel Edifica, Inmetro e CB3E/UFSC, foi elaborado a fim de fomentar a Lei da Eficiência Energética, com o objetivo de contribuir para a expansão do setor habitacional de forma energeticamente eficiente. (ELETROBRAS/PROCEL, 2013).

Segundo Bavaresco et al. (2017), com o objetivo de reduzir o consumo de energia das edificações, normas e regulamentos de desempenho termoenergético vêm sendo aperfeiçoados nas últimas décadas em muitos países, até mesmo no Brasil. Na sua maioria são adotados os metamodelos para a predição da eficiência energética das edificações. Regulamentos, códigos e certificações de energia visam alertar os consumidores a respeito do uso racional de energia e estimular o mercado imobiliário (VERSAGE, 2015, apud BAVARESCO et al., 2017).

Pensando nisso, a ELETROBRAS, através da Procel, juntamente com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) entraram como parceiros no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica). O objetivo do PBE é gerar selos informativos que alertam e comunicam os consumidores sobre a eficiência energética dos produtos mais comercializados no Brasil que consomem energia.

Através do PBE, foi publicado, no ano de 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviço, Públicas e Residenciais, chamados de RTQ-C e RTQ-R. Segundo Gomes (2017), com esse programa, é possível qualificar as edificações por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), o qual também concede a classificação a outros tipos de produtos disponíveis no mercado. Para Pouey, Brandalise e Silva (2012), o RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética.

O modelo prescritivo descrito nos manuais de aplicação do RTQ-R e do RTQ-C faz a nivelção das edificações através de selos informativos segundo a eficiência energética. Segundo Langhans (2015), o objetivo do PBE é classificar as edificações entre os níveis “A” e “E”, sendo “A” a melhor eficiência e “E” a pior, tendo como parâmetro alguns pré-requisitos para a adoção de cada nível. Além disso, o modelo leva em consideração, separadamente, as variáveis determinantes de cada ambiente do projeto, como: transmitância térmica; capacidade térmica; absorvância solar das superfícies; ventilação natural e iluminação natural. Neste trabalho, será desenvolvido o método prescritivo do RTQ-R avaliando uma edificação residencial, tendo como objeto de estudo uma edificação multifamiliar vertical de 4 (quatro) pavimentos.

2.1 Panorama do consumo energético no Brasil e no mundo

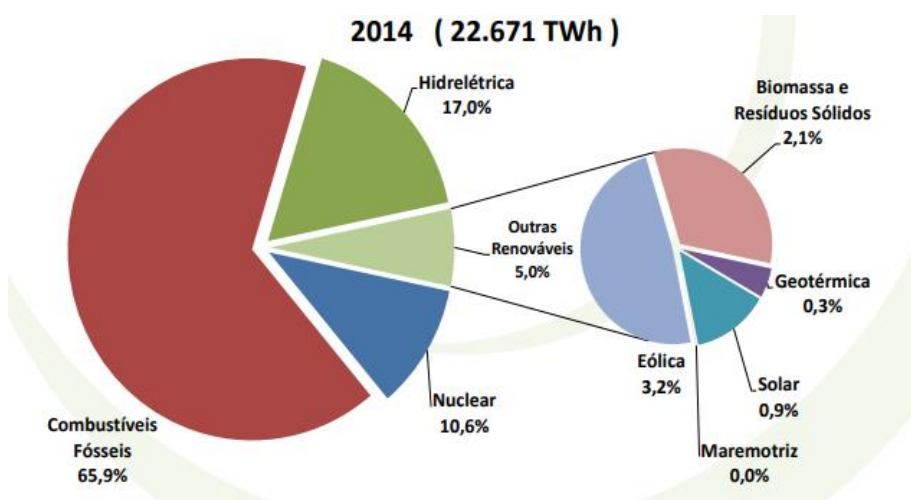
O aumento expansivo do consumo de energia e dos recursos naturais do planeta, têm se tornado uma grande preocupação mundial, embora demonstre uma probabilidade de melhoria na qualidade de vida e um enriquecimento econômico. É notável que as grandes fontes de energia, como o carvão, o gás natural, a energia

nuclear, a hidroeletricidade, e principalmente o petróleo, estão se esgotando no meio ambiente em um ritmo acelerado e acentuado. O impacto do esgotamento desses vetores energéticos dará abertura para novas tecnologias serem estudadas, aperfeiçoadas, e aos poucos serem introduzidas como forma de substituição sustentável desses recursos. Com maior índice nos países emergentes, a sociedade começou a pensar mais em fatores como sustentabilidade, poluição ambiental e segurança energética (MORAIS, 2015).

Estudos sobre o consumo energético chamam atenção para um segmento muito importante para o desenvolvimento mundial: a construção civil. Grande parte dos impactos ambientais deriva desta atividade, desde o início da obra, passando pela fabricação dos materiais utilizados, até o final da sua vida útil, incluindo a demolição e deposição dos resíduos gerados. Por isso, segundo Moraes (2015), é fundamental entender os métodos de análise das edificações, segundo o seu nível de eficiência energética e prever um planejamento do seu sistema energético.

A Figura 1 demonstra através de um gráfico, a geração de energia elétrica mundial, por fonte, elaborado no ano de 2017 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com o Ministério de Minas e Energia e o Governo Federal do Brasil. O gráfico foi publicado no Anuário Estatístico de Energia Elétrica e se refere a dados coletados nos últimos cinco anos, com ênfase no ano de 2014.

Figura 1 - Geração de energia elétrica mundial por fonte



Fonte: Anuário estatístico de energia (2017)

Para compreender o panorama de consumo energético primeiramente deve-se entender que a energia primária, captada diretamente do meio ambiente, é subdividida em energia não renovável e energia renovável. Fazem parte das energias não renováveis os combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão, o gás natural e a energia nuclear. Nas energias renováveis estão os biocombustíveis, a energia solar fotovoltaica e eólica. A partir das fontes primárias é obtida a energia secundária como a energia elétrica, o carvão mineral e a gasolina (MOURA; MOTTA, 2013).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia (BRASIL, 2017), a partir dos dados analisados é possível visualizar que a geração de energia elétrica por combustíveis fósseis ainda é o grande vilão da atual situação mundial, correspondendo a 65,9% do total de geração de energia, enquanto a energia nuclear equivale a 10,6%. As energias renováveis contribuem com apenas 5,0%, sendo ramificadas da seguinte forma: energia eólica com 3,2%, biomassa e resíduos sólidos com 2,1%, energia solar com 0,9%, e geotérmica com 0,3%.

Ainda segundo o Anuário Estatístico de Energia (BRASIL, 2017), quanto ao consumo de energia elétrica mundial no ano de 2014, a China se destaca como a maior consumidora, correspondendo a 24,4% do consumo mundial, uma vez que também é detentora do maior percentual de geração da mesma energia no mundo nos últimos 5 anos. EUA segue em segundo lugar com 18,9%, já o Brasil ocupa a sétima posição no ranking, com 2,6% do consumo de energia elétrica mundial. A Tabela 1 apresenta a classificação dos 10 países mais consumidores de energia elétrica no mundo.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no mundo

		2013 (TWh)	2014 (TWh)	Diferença 2014/2013 (%)	Part. 2014 (%)
Posição	Mundo	20.326,0	20.730,6	2,0	100,0
1	China	4.845,7	5.066,8	1,1	24,4
2	EUA	3.868,3	3.912,8	7,6	18,9
3	Índia	903,5	972,6	-2,6	4,7
4	Japão	959,1	934,4	1,1	4,5
5	Rússia	881,1	891,0	-2,1	4,3
6	Alemanha	544,6	533,0	3,2	2,6
7	Brasil	516,2	532,6	-0,5	2,6
8	Canadá	530,9	528,1	1,5	2,5
9	Coreia do Sul	487,8	495,0	-5,3	2,4
10	França	455,1	431,0	1,6	2,1

Fonte: Adaptado pelo autor com base no Anuário Estatístico de Energia (BRASIL, 2017).

O Ministério de Minas e Energia, através do BEN (Balanço Energético Nacional) para o ano de 2016, indica que o consumo de energia elétrica ainda pode ser dividido por classe de consumo, ou seja, pode ser definido para qual destino final a energia está sendo aplicada, ramificando os diferentes tipos de utilidade da energia elétrica (BRASIL, 2017). Com essa demonstração da distribuição do consumo de energia e da matriz energética é possível determinar a importância, quanto ao conforto térmico, do consumo de energia elétrica.

Neste âmbito, o enfoque é voltado para os setores residenciais, comerciais e públicos. Segundo dados do BEN 2017, ano base 2016, no Brasil cerca de 44,7 milhões de toneladas de petróleo foram utilizados no setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, industrial e de transportes. A Tabela 2 demonstra os percentuais consumidos por cada segmento.

Tabela 2 - Composição setorial do consumo de eletricidade

Setores	2014	2015	2016	
Consumo Final	46.005 (10³ tep)	45.096 (10³ tep)	44.705 (10³ tep)	10 ³ tep
Setor energético	5,8	6,1	5,7	%
Residencial	24,7	25,0	25,6	%
Comercial	16,9	17,4	17,2	%
Público	8,5	8,3	8,3	%
Agropecuário	5,0	5,1	5,3	%
Transportes	0,4	0,4	0,4	%
Industrial	38,7	37,7	37,6	%

Fonte: Adaptado pelo autor com base no Balanço Energético Nacional (BRAZIL, 2017).

Analisando os dados divulgados pelo Ministério de Minas e Energia, através do BEN 2017, é possível confirmar que o setor residencial tem uma grande influência no consumo de eletricidade brasileiro, correspondendo a 25,6% do consumo total do ano de 2016, ficando atrás apenas do setor industrial, com 37,6%. O setor comercial compreende 17,2%, reduzindo o consumo quando comparado com o ano de 2015, enquanto o setor público corresponde a 8,3% do total de energia elétrica consumida no ano. Ainda segundo o balanço nacional, a região que mais consumiu energia no mesmo ano foi a região Sudeste, com 48,8% do total, sendo o estado de São Paulo o maior consumidor. A região Sul corresponde a 15,6%, ficando em terceiro lugar, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior consumidor da região. O menor índice de consumo de energia elétrica no ano de

2016 ocorreu na região Norte com 7,1% do total, sendo o Acre o estado menos consumista do país naquele ano.

Após analisar os dados constantes do BEN 2017, fica claro que o setor residencial vem crescendo pela demanda no consumo brasileiro de energia elétrica. Uma parcela dessa grande utilização de energia dentro das residências se deve aos aparelhos eletrodomésticos, outra parcela é devido aos equipamentos de refrigeração e aquecimento interno das edificações e aos sistemas de aquecimento de água. Estes últimos fatores são variáveis quanto às condições climáticas de cada região, sendo, no geral, o ar condicionado muito difundido no verão e o aquecimento de água muito utilizado no inverno.

2.2 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro está regulamentado através da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), e consiste na divisão do território brasileiro em 8 zonas climáticas. A mesma norma apresenta recomendações e as estratégias construtivas para que as edificações atendam ao conforto térmico dos seus ocupantes, através de condicionamento térmico passivo.

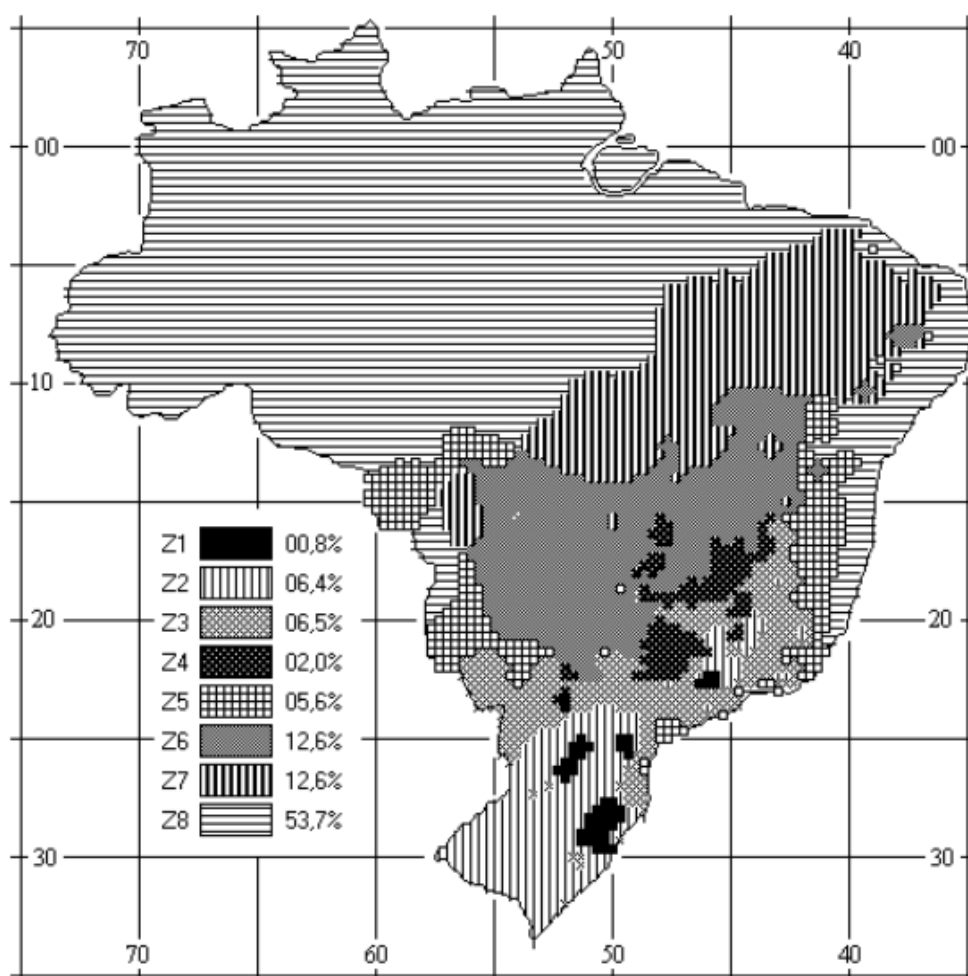
Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social -, para o desenvolvimento do mapa de zoneamento bioclimático os seguintes parâmetros foram levados em consideração: dimensões das aberturas para ventilação; proteção das janelas e portas; vedações externas (características dos materiais das paredes e coberturas); e estratégias que preservem e conservem o conforto térmico passivo. O manual de aplicação do RTQ-R define o zoneamento bioclimático como:

A Zona Bioclimática (ZB) tem por objetivo determinar as estratégias que uma edificação deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Desta forma, uma ZB é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados objetivos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico (Portaria 018, INMETRO, 2012).

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito zonas, que se diferenciam pela estratégia de condicionamento térmico passivo, ou seja, para cada zona bioclimática, recomendam-se diferentes métodos de construção para se atingir

o conforto térmico natural. A Figura 2 mostra como o zoneamento bioclimático brasileiro está dividido.

Figura 2 - Zoneamento bioclimático brasileiro



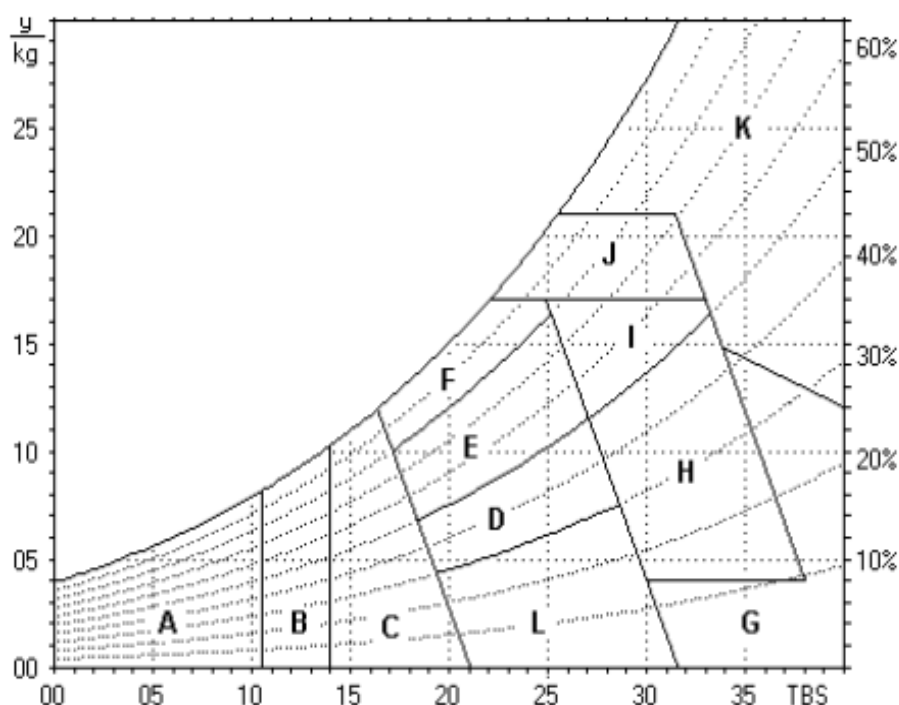
Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

A cidade de Lajeado, localizada no estado do Rio Grande do Sul, está inserida, segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), na Zona Bioclimática 2, tendo as seguintes limitações de projeto: as aberturas de dimensões médias para ventilação precisam ter sombreamento, sendo dimensionadas para permitir sol no inverno; as paredes externas devem ser feitas de materiais com baixa inércia térmica e na cobertura é recomendada a utilização de isolamento térmico; as estratégias de condicionamento térmico passivo podem variar conforme as estações do ano, sendo para o verão recomenda utilização de ventilação cruzada, já para o inverno deve ser dimensionado aquecimento solar e vedações internas com materiais de alta inércia térmica (NBR 15220-3, ABNT, 2005).

Porém, a norma ainda salienta que para os períodos de dias mais frios do ano, o condicionamento passivo será insuficiente, e alerta que as estratégias adotadas para definir o zoneamento bioclimático foram definidas com base em dados climáticos como médias mensais de temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar. A norma informa que os dados climáticos foram utilizados para se estabelecer as zonas bioclimáticas através de 330 cidades, sendo as demais cidades estimadas por interpolação do mapa brasileiro.

A classificação do zoneamento bioclimático foi adaptada através da carta bioclimática de Givoni (FIGURA 3) e demonstra as estratégias adotadas para cada área do diagrama, permitindo os principais parâmetros para realização dos projetos de edificações.

Figura 3 - Carta bioclimática adaptada de Givoni



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

As estratégias bioclimáticas distribuídas em zonas de “A” a “L” estão representadas no Quadro 1, segundo Givoni (1992).

Quadro 1 – Estratégias para cada zona bioclimática

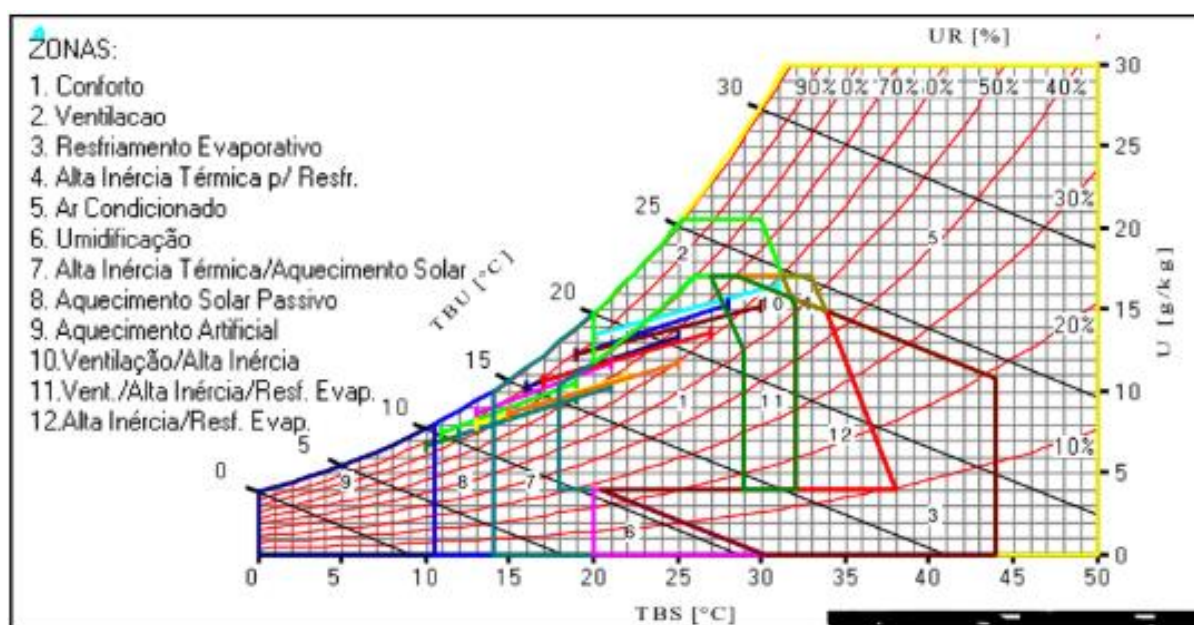
ZONA	ESTRATÉGIA
A – Utilização de sistema artificial de aquecimento (calefação)	Necessário para mitigar a sensação de desconforto térmico causado pelo frio
B – Utilização de sistemas de aquecimento solar	A otimização do projeto da edificação contribui para o aquecimento em períodos frios, através da radiação solar
C – Utilização de materiais com elevada massa térmica para aquecimento	Paredes internas pesadas contribuem para o armazenamento de calor no interior
D – Zona de conforto térmico a baixas umidades	Região onde se atinge o conforto térmico, porém a baixas umidades
E – Zona de conforto térmico pleno	Satisfação total de conforto térmico pelos usuários da edificação
F – Utilização de sistemas para desumidificação e renovação do ar	Possível através da alternância de ar interno por ar externo, basicamente atendido pela ventilação natural dos ambientes
G + H – Utilização de sistemas de resfriamento evaporativo	Utilização de vegetação, fontes de água ou outros recursos para evaporação da água em ambientes quentes
H + I – Utilização de materiais com elevada massa térmica para refrigeração	Paredes internas e externas com mais massa térmica devolvem, à noite, o ar quente armazenado durante o dia
I + J – Utilização de sistemas que facilitem a ventilação natural	Utilização de aberturas para a ventilação cruzada, atentando para a direção dos ventos, na hora do projeto
K – Utilização de sistema artificial de resfriamento	Necessário para mitigar a sensação de desconforto térmico causado pelo calor
L – Utilização de sistemas que façam a umidificação do ar	Necessário em ambientes quem sofram com a relativa do ar muito baixa.

Fonte: elaborado pelo autor com base em Givoni (2018).

Através da metodologia da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and air-conditioning Engineers*, chamada de TRY - *Test Reference Year*, ou ano climático de referência, é possível sobrepor à carta bioclimática, gerando as melhores estratégias a serem adotadas para cada zona. Segundo Carvalho, Araujo e Silva (2002), o TRY representa uma série de dados climáticos, referentes ao período de um ano para determinado lugar geográfico, levando em consideração, no mínimo 10 anos consecutivos da mesma série de dados.

Spinelli et al. (2017), através de um estudo, desenvolveram a carta bioclimática para o município de Lajeado/RS e apresentaram, através da utilização do software Analysis Bio2, as estratégias bioclimáticas para a região. Como resultado, a Figura 4 demonstra a sobreposição da carta bioclimática de Givoni com a carta do ano climático de referência (TRY), utilizando os dados climáticos do município de Lajeado, e visualmente se identifica que as estratégias utilizadas são definidas nas zonas 1, 2, 7, 8, 9, 10 e 11. As estratégias das respectivas zonas são definidas como: Zona 1: Conforto Térmico; Zona 2: Ventilação Natural; Zona 7: Alta Inércia Térmica / Aquecimento Solar Passivo; Zona 8: Aquecimento Solar Passivo; Zona 9: Aquecimento Artificial; Zona 10: Ventilação Natural / Alta Inércia; Zona 11: Ventilação Natural / Alta Inércia / Resfriamento Evaporativo.

Figura 4 - Carta bioclimática para o município de Lajeado/RS

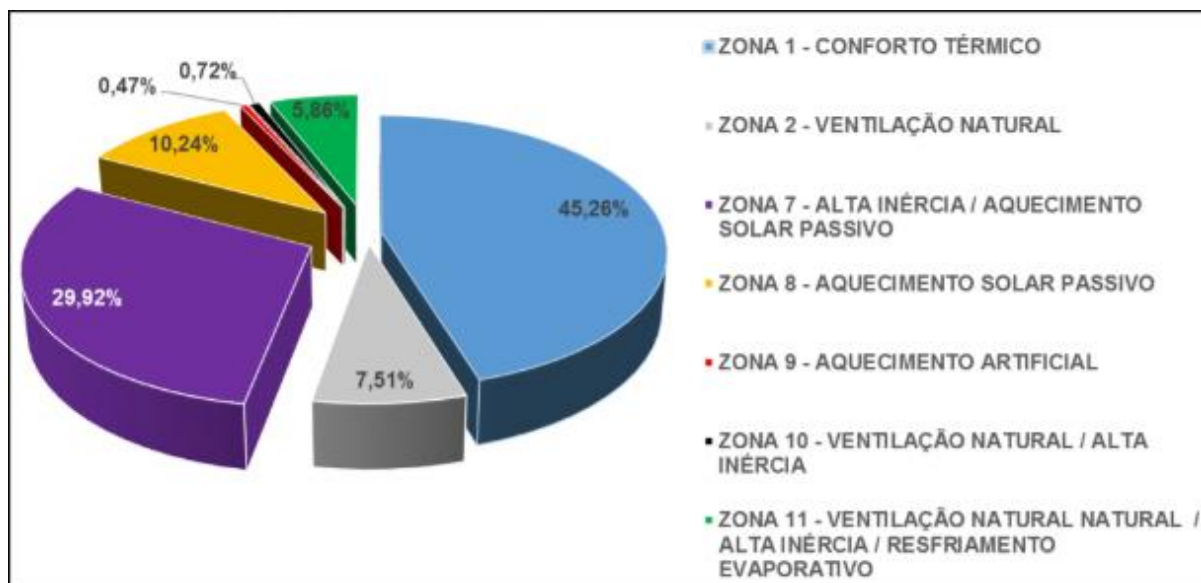


Fonte: Spinelli et al. (2017).

Segundo Spinelli et al. (2017), para melhor compreensão dos dados, os percentuais foram convertidos em números, representando a quantidade de dias dentro de cada mês do ano. Através da ponderação dos valores referente a cada estratégia em cada mês do ano, foi definido o percentual de dias dentro do período de um ano em que determinada estratégia deverá ser utilizada, devendo ser definidas na fase inicial do projeto arquitetônico. Contudo, ainda pode ocorrer que uma estratégia adequada para o verão tenha uma necessidade invertida para o inverno. Por isso é recomendado que as estratégias bioclimáticas sejam usadas

simultaneamente, integradas com sistemas de condicionamento artificial. A Figura 5 demonstra o resultado encontrado por Spinelli et al. (2017).

Figura 5 - Estratégias de conforto térmico para o município de Lajeado/RS



Fonte: Spinelli et al. (2017).

Para Spinelli et al. (2017), percebe-se claramente que em grande parte dos dias do ano (45,26%), a sensibilidade de conforto térmico é atingida naturalmente sem a necessidade de nenhuma estratégia bioclimática. Com predominância em período de dias com as temperaturas mais baixas, a estratégia de Alta Inércia / Aquecimento Solar Passivo (Zona 7), é necessária em 29,92% dos dias do ano, podendo, segundo Lamberts et al. apud Spinelli et al. (2017), serem utilizadas em conjunto ou separadamente. Os mesmos autores ainda citam que por ocorrerem em dias mais frios, a pouca utilização de proteção nas aberturas facilita o aquecimento da materialidade da envoltória da edificação, ocupando grande parte da radiação solar incidente.

A estratégia de Aquecimento Solar Passivo (Zona 8) aparece em 10,24% dos dias do ano, podendo utilizar como recurso natural a acumulação da radiação solar através da projeção das aberturas com incidência direta do sol no inverno, e proteção das mesmas, através de marquises ou brises no verão. Neste caso, a estratégia da Zona 7, Alta Inércia / Aquecimento Solar Passivo, também pode ser utilizada, considerando o percentual de dias do ano da referida estratégia. (SPINELLI et al., 2017).

Ainda, em análise à carta bioclimática para Lajeado/RS e suas estratégias de sensibilidade ao conforto térmico, Spinelli et al. (2017) citam como desprezível a Zona 9, Aquecimento Artificial, por estar presente em apenas 0,47% dos dias do ano, o que indica que não há a necessidade de dispositivos de aquecimento artificial dos ambientes internos. As estratégias 2, 10 e 11 envolvem a ventilação natural, e juntas somam aproximadamente 15% dos dias do ano, sendo a ocorrência predominantemente em dias de verão, podendo novamente serem utilizadas separadas ou em conjunto para os referentes dias do ano, segundo Lamberts et al. apud Spinelli et al., 2017.

2.3 Determinação do nível de eficiência energética das edificações

Sendo um segmento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que já classificava os equipamentos domésticos segundo sua eficiência energética, o PBE Edifica foi formado em 2003 através de uma parceria entre a Eletrobras/Procel e o Inmetro (FERNANDES, 2015). Assim como nos eletrodomésticos, a etiqueta PBE Edifica indica o nível de eficiência energética das edificações.

Segundo Lamberts et al. (2007), formou-se então a Procel Edifica, que formalizou a publicação de manuais regulamentadores que fazem a especificação de requisitos técnicos e métodos a fim de classificar as edificações, segundo a sua eficiência energética. Os manuais foram divididos em dois segmentos, sendo um para edificações comerciais, públicas e de serviços, o RTQ-C, e outro para edificações residenciais, o RTQ-R, publicados pelo INMETRO através das Portarias 372/2010 e 018/2012, respectivamente.

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) para fazer a classificação da edificação e emitir a etiqueta, segundo a eficiência energética, são avaliadas as seguintes prescrições:

- Unidades Habitacionais Autônomas;
- Edificações Unifamiliares;
- Edificações Multifamiliares;

- Áreas de Uso Comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais.

O nível de eficiência energética das Unidades Habitacionais Autônomas e das Edificações Unifamiliares, deve ser encontrado avaliando-se separadamente dois sistemas: a envoltória da edificação e o sistema de aquecimento de água. Através da avaliação desses dois sistemas, a Unidade Habitacional Autônoma (UH) recebe uma pontuação, que pode ser somada com possíveis bonificações. As bonificações são pontuações extras que cada UH recebe, dependendo das iniciativas que a edificação toma em relação ao aumento da eficiência energética, como por exemplo, uso racional de água, ventilação e iluminação natural em áreas comuns de uso frequente. Na classificação geral, o somatório das bonificações da UH pode chegar a no máximo 1 (um) ponto. (Portaria 018, INMETRO, 2012).

Já para as Edificações Multifamiliares, a Portaria 018 (INMETRO, 2012), determina que, além de analisar separadamente o nível de eficiência energética de todas as UHs da edificação, devem-se ponderar essas pontuações totais pelas suas áreas úteis, exceto terraços e varandas. O Manual orienta que, para edificações multifamiliares novas (em construção), todas as UHs devem obrigatoriamente ser avaliadas, já para edificações existentes, as UHs podem ser avaliadas individualmente, ou seja, cada unidade pode obter o seu selo de eficiência individual.

O nível de eficiência energética de áreas comuns das edificações multifamiliares ou, até mesmo de condomínios de edificação residencial são obtidos através das avaliações de áreas de uso coletivo pelos condôminos, e, segundo o manual, não se aplica a edificações unifamiliares. São caracterizadas como áreas de uso comum apenas as áreas que são frequentadas pelos moradores, e dividem-se em: áreas comuns de uso frequente, como garagens, escadas, elevadores, corredores, circulações, entre outros; e áreas comuns de uso eventual, como espaços coletivos destinados a lazer e descanso, salas de cinema, salões de festa, banheiros coletivos, piscinas, quadras poliesportivas e entre outros. Para a avaliação desses espaços são considerados os desempenhos dos sistemas de iluminação artificial, de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas centrífugas e dos equipamentos (Portaria 018, INMETRO, 2012).

Depois de avaliar tanto os sistemas individuais como as edificações como um todo, as mesmas são classificadas, segundo a pontuação obtida, pelos níveis de eficiência energética, que são listados segundo a Portaria 018/2012 do INMETRO, como: Nível “A” (mais eficiente), “B”, “C”, “D” e “E” (menos eficiente). Cada nível corresponde a um equivalente numérico, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Portaria 018 (INMETRO, 2012).

Para isso, requisitos como o nível da eficiência energética da envoltória e de sistemas de aquecimento de água são encontrados através de cálculos descritos no método prescritivo do RTQ-R, por isso muitas vezes são encontrados como números fracionados, correspondendo a pontuação de cada elemento analisado. Portanto, nesse caso, é utilizado o Quadro 3, segundo o manual.

Quadro 3 – Classificação no nível de eficiência para a pontuação obtida

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \geq PT < 4,5$	B
$2,5 \geq PT < 3,5$	C
$1,5 \geq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: Portaria 018 (INMETRO, 2012).

O Guia Prático para Etiquetagem de Edifícios (BRASIL, 2015), publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, em parceria com o Departamento de Mudanças Climáticas e a Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, afirma que as edificações classificadas com o nível “E” são consideradas construções que não se preocupam com o consumo energético eficiente. O mesmo documento ainda cita alguns exemplos práticos que podem ser adotados na construção para que a edificação obtenha nível de etiquetagem máxima “A”.

2.4 Pré-requisitos para obtenção do nível máximo de etiquetagem

O Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2015) destaca que para obtenção do nível “A”, as edificações multifamiliares devem ter circuitos elétricos separados por uso final e aquecimento de água eficiente para grandes consumidores. Além disso, sistemas que reduzam o consumo de água em vasos sanitários e torneiras, reutilização da água e utilização de elevadores mais eficientes e inteligentes garantem à edificação uma bonificação na pontuação para o requerido nível de eficiência energética.

Quanto à iluminação, a Portaria 018 (INMETRO, 2012) recomenda que a densidade de potência em dormitórios e salas deve ser no máximo 5,0 W/m² e 6,0 W/m², respectivamente. O guia prático do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2015) observa que, para escritórios não deve ultrapassar de 9,70 W/m² e ainda destaca que para garantir o nível de eficiência máxima, devem ser instalados sensores de presença, além de acionamento das luzes internas independentes e por setores.

Para os condicionadores de ar, a Portaria 018 (INMETRO, 2012) padroniza, para todas as Zonas Bioclimáticas, incluindo a Zona 2, onde o município de Lajeado está inserido, a temperatura do termostato de refrigeração em 24°C e para aquecimento em 22°C para as Zonas 1 a 4, além da limitação do tempo de utilização de condicionamento artificial no período das 21h às 8h, sendo que no período restante do dia, a edificação deve ser naturalmente ventilada, através de estratégias de ventilação.

A envoltória da edificação, segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2015) deve conservar o planejamento conforme a sua Zona Bioclimática. Fachada de vidro se for o caso, devem contemplar vidros de baixa emissividade térmica, por exemplo, o que absorverá parte da radiação emitida pelo sol, além de aberturas bem distribuídas no entorno da edificação. A Portaria 018 (INMETRO, 2012) aconselha que a avaliação da envoltória deva ser feita individualmente para cada um dos ambientes da edificação, levando em consideração os pré-requisitos de cada ambiente, como absorbância, transmitância e capacidade térmica das superfícies, além das características relativas à ventilação natural e iluminação.

2.4.1 Absortância à radiação solar

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), absortância à radiação solar é estabelecida como o quociente da taxa de radiação solar que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre ela. Geralmente relacionada à cor do material, a absortância confere ao elemento a característica de absorver uma parcela de radiação solar. Já a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), publica em seu Anexo B, uma lista com alguns materiais e cores, com as suas respectivas parcelas de absortância solar, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Absortância (α) para radiação solar

Tipo de superfície	Absortância térmica (α)
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
"Alumínio"	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Conforme a Portaria 018 (INMETRO, 2012), com exceção de coberturas vegetadas (teto jardim), o pré-requisito da absortância à radiação solar deve ser atendido conforme a Zona Bioclimática. Ainda segundo o manual, a avaliação da absortância considerada corresponde à média das absorbâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam, diminuindo a

absortância das áreas envidraçadas das aberturas. Seus limites estão apresentados na Tabela 4, dependendo da zona bioclimática e do componente de fechamento.

Tabela 4 - Pré-requisitos para absortância solar

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar
		(adimensional)
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência
	Cobertura	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$
		$\alpha > 0,6$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$
		$\alpha > 0,6$
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$
		$\alpha > 0,6$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$
		$\alpha > 0,4$
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$
		$\alpha > 0,6$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$
		$\alpha > 0,4$

Fonte: Adaptado pelo autor com base na Portaria 018 (INMETRO, 2012).

2.4.2 Transmitância térmica

A Portaria 018 (INMETRO, 2012) define a transmitância térmica como o fluxo de calor que passa através dos componentes das vedações (vidros e componentes opacos das paredes externas e coberturas), em unidade de tempo e através de uma unidade de área, quando há uma diferença entre as temperaturas do ar interna e externa, diretamente em contato com as duas superfícies do componente. Para a determinação da transmitância térmica de cada componente, o manual orienta que deve ser utilizado o método de cálculo e demais informações constantes na NBR 15220-2/2005. A mesma norma avalia que a transmitância térmica de componentes corresponde ao inverso da resistência térmica total, conforme Equação 1, sendo considerada para a avaliação do pré-requisito deste método, a média das transmitâncias de cada parcela das paredes externas, excluindo as aberturas, ou coberturas, ponderadas pela área que ocupam.

Equação 1 - Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{RT} \quad (1)$$

Onde:

U = transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$);

RT = resistência térmica ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

A transmitância térmica é um dos pré-requisitos para a determinação do nível de eficiência energética. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), este pré-requisito se aplica apenas a ambientes de permanência prolongada e deve ser atendido de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação se localiza, conforme Tabela 5. É importante ressaltar que a Tabela 5 deve ser utilizada concomitantemente com os outros pré-requisitos, como absorptância e capacidade térmica, sendo variáveis dependendo do componente analisado. Para o trabalho em questão, utilizou-se a Zona Bioclimática 2, onde o município de Lajeado está inserido.

Tabela 5 - Pré-requisitos para absorptância solar e transmitância térmica

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar	Transmitância térmica
		(adimensional)	$[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$

Fonte: Adaptada pelo autor com base na Portaria 018 (INMETRO, 2012).

2.4.3 Capacidade térmica das superfícies

Segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), capacidade térmica corresponde à quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema e pode ser definida como a razão entre a quantidade de calor recebida pelo

componente e a variação de temperatura sofrida por ele. A determinação da capacidade térmica dos componentes se dá a partir de duas equações, basicamente diferenciadas por componentes homogêneos e heterogêneos.

Conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), para determinação da capacidade térmica (CT) de componentes formados por camadas somente homogêneas e perpendiculares ao fluxo de calor, é utilizada a Equação 2.

Equação 2 - Capacidade térmica para camadas homogêneas

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i * R_i * c_i * \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i * c_i * \rho_i \quad (2)$$

Onde:

CT = capacidade térmica (kJ/m².K);

λ_i = condutividade térmica (W/(m.K));

R_i = resistência térmica ((m².K)/W);

e_i = espessura da camada (m);

c_i = calor específico do material (kJ/(kg.K));

ρ_i = densidade de massa aparente do material (kg/m³).

Já para determinação da capacidade térmica (CT) de componentes formados por camadas homogêneas e não homogêneas (heterogêneas) e perpendiculares ao fluxo de calor, a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), orienta utilizar a Equação 3.

Equação 3 - Capacidade térmica para camadas heterogêneas

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}} \quad (3)$$

Onde:

CT_a, CT_b, CT_n = capacidades térmicas para cada seção (a, b, n), determinadas pela Equação 2, (kJ/(m².K));

A_a, A_b, A_n, = áreas de cada seção (m²).

Conforme o Manual de Aplicação do RTQ-R (Portaria 018, INMETRO, 2012), o pré-requisito da capacidade térmica das superfícies também deve ser atendido de

acordo com a Zona Bioclimática, e seus limites estão apresentados na Tabela 6. É possível verificar que os limites variam dependendo do componente analisado, ou seja, paredes e cobertura.

Tabela 6 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar	Transmitância térmica	Capacidade térmica
		(adimensional)	[W/(m²K)]	[Kj/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: Adaptada pelo autor com base na a Portaria 018 (INMETRO, 2012).

Segundo as tabelas acima citadas, obtidas da NBR 15220-2/2005, para a Zona Bioclimática 2 o pré-requisito para transmitância térmica deve ser inferior a 2,50 W/(m².K) e 2,30 W/(m².K), para paredes e coberturas, respectivamente. A absorvância solar não tem exigência de limite para essa Zona, já a capacidade térmica deve ser superior a 130 kJ/(m².K) para paredes e para coberturas não há exigência. O manual ainda cita que caso algum ambiente não atinja o pré-requisito de capacidade térmica, o mesmo obterá grau de eficiência de no máximo “C” nos equivalentes numéricos do ambiente para resfriamento, aquecimento e refrigeração, não impactando a totalidade da UH.

2.4.4 Iluminação natural

Além de ser um item indispensável em edificações, a iluminação natural também é um critério avaliado no desempenho do conforto energético. Segundo a

Portaria 018 (INMETRO, 2012) a iluminação natural deve ser garantida, em ambientes de permanência prolongada, através de uma ou mais aberturas para o exterior da edificação, seja em forma de portas ou janelas, e ainda deve corresponder pelo menos a 12,5% da área útil dos ambientes, devendo ser analisado para cada ambiente individualmente. Para ambientes integrados, como por exemplo, salas e cozinhas, estes devem ser analisados como um ambiente único, sendo a área de aberturas a soma de todas as janelas e portas para o ambiente externo existentes no mesmo. Para dormitórios com grande área útil, deve-se desconsiderar o restante e atender o pré-requisito apenas para 15 m², não contabilizando o que ultrapassar essa metragem.

Ainda, segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) R, caso algum ambiente não atinja o pré-requisito de 12,5% de área de aberturas em relação à área útil do ambiente, implicará em no máximo o nível “C” para resfriamento, aquecimento e refrigeração nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente.

É possível determinar o valor de bonificações de cada ambiente através do método prescritivo do RTQ-R, levando dois fatores em consideração: a profundidade dos ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais e a refletância do teto. O primeiro pré-requisito para bonificação deve ser atendido conforme a Equação 4, onde a profundidade máxima de mais de 50% dos ambientes com iluminação natural lateral, incluindo os de permanência prolongada, cozinhas e área de serviço/lavanderia, deve ser menor do que 2,4 vezes a distância entre o piso e a altura máxima do orifício para iluminação natural.

Equação 4 - Profundidade do ambiente para determinação da iluminação

$$P \leq 2,4 \cdot h_a \quad (4)$$

Onde:

P = profundidade do ambiente (m)

ha = distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo-se os caixilhos (m).

O segundo critério para obtenção da bonificação, condiz com a refletância da iluminação natural no teto do ambiente. Cada ambiente de permanência prolongada,

incluindo cozinha e área de serviço/lavanderia, deve atender um nível de refletância no teto acima de 60% para bonificação máxima. A bonificação total obtida nestes quesitos pode ser de até 0,30 pontos.

2.4.5 Ventilação natural

A Portaria 018 (INMETRO, 2012) conceitua a ventilação natural como um critério para avaliar a potencialidade do escoamento do vento através da edificação, observando a presença de condições que favorecem o aproveitamento da ventilação natural como uma estratégia de resfriamento passivo em ambientes de longa permanência. A ventilação natural é um dos pré-requisitos avaliados para determinar o grau de eficiência energética da envoltória.

Para uma edificação obter o nível máximo nesse pré-requisito, ela deve, primeiramente, atender aos percentuais de abertura para ventilação, discriminados na Tabela 7. As áreas mínimas de aberturas para ventilação são consideradas em ambientes de permanência prolongada, em relação à área do piso do ambiente e levam em consideração a posição da edificação em relação à Zona Bioclimática.

Tabela 7 - Áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

Fonte: Adaptada pelo autor com base na Portaria 018 (INMETRO, 2012).

É importante destacar que, por estar localizado na ZB 2, o município de Lajeado deve obedecer ao percentual de área mínima de abertura maior ou igual a 8% em relação à área de piso de cada ambiente. Conforme a Portaria 018 (INMETRO, 2012), para encontrar o percentual de abertura para ventilação deve-se utilizar a Equação 5.

Equação 5 - Percentual de abertura para ventilação

$$A = 100. \left(\frac{A_v}{AU_{amb}} \right) \quad (5)$$

Onde:

A = percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%);

A_v = área de abertura para ventilação (m^2);

AU_{amb} = área útil do ambiente (m^2)

As edificações localizadas nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8 também precisam obedecer aos requisitos de ventilação cruzada, sob risco de atingir no máximo o nível “C” no equivalente numérico para resfriamento da envoltória. A fim de garantir a ventilação cruzada, a edificação precisa providenciar o escoamento do ar entre as aberturas situadas em duas fachadas, pelo menos, promovendo fluxo de ar no interior dos ambientes de permanência prolongada. Devem ainda atender a correlação indicada na Equação 6 (Portaria 018, INMETRO, 2012).

Equação 6 - Atendimento ao pré-requisito de ventilação cruzada

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25 \quad (6)$$

Onde:

A_1 : somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m);

A_2 : somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m).

A pontuação em relação à ventilação natural somada no equivalente numérico da envoltória pode ser aumentada com bonificações se a edificação apresentar: porosidade mínima de 20% em duas fachadas com orientações distintas (relação entre área efetiva do orifício para ventilação e área da fachada); uso de venezianas móveis ou peitoris ventilados a fim de favorecer a ventilação com o controle da luz natural, raios solares e incidência de chuvas, e janelas de vão livre com centro geométrico entre 40 e 70 cm contando a partir do piso. A bonificação total obtida nestes quesitos pode ser de até 0,40 pontos. (Portaria 018, INMETRO, 2012)

2.5 Como obter a etiqueta PBE Edifica

A Etiqueta PBE Edifica é a confirmação e certificação do nível de eficiência energética da edificação. Através dela, principalmente para construções comerciais e públicas, é possível identificar o grau de preocupação da edificação com o meio ambiente, através da letra indicativa destacada no topo da etiqueta (“A” a “E”). Existem dois tipos de etiqueta: a etiqueta enquanto projeto e a etiqueta da edificação quando construída. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), a etiqueta deve ser solicitada nos dois momentos, a fim de verificar se a edificação foi construída conforme projetada.

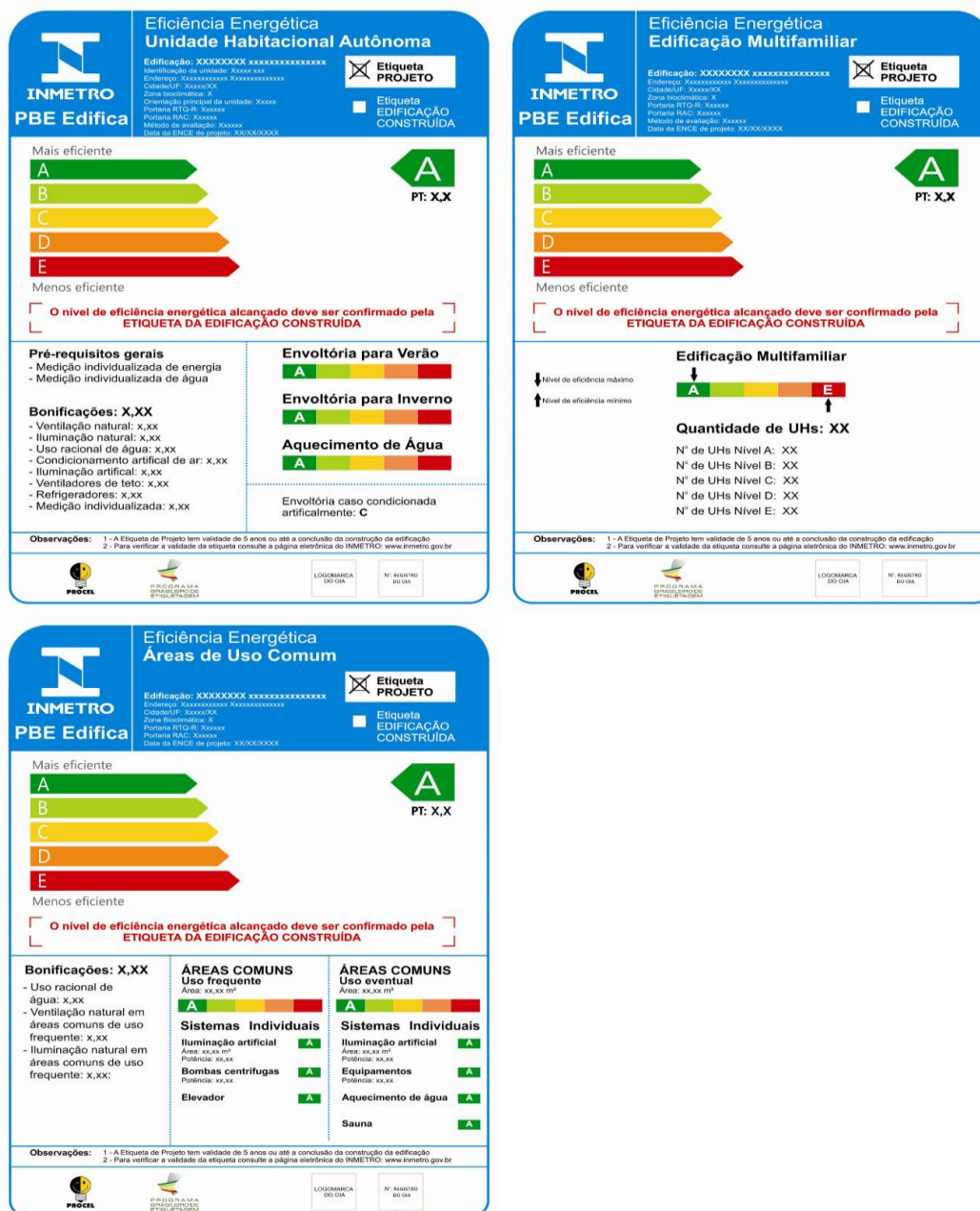
Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2015), para solicitar a etiqueta PBE Edifica o requerente deve entrar em contato com um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) tanto na fase de projeto, como para edificações já construídas. Os OIAs são empresas públicas ou privadas reconhecidas através da Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro, responsáveis por analisar e avaliar o projeto ou a obra concluída. A avaliação feita pelos OIAs pode ser desenvolvida através do método prescritivo, com base em equações e tabelas, estabelecidas pelo RTQ-C ou RTQ-R ou através de simulação computacional, onde são comparadas as características de desempenho da edificação com um projeto modelo, atrelado aos valores das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética.

Para as UHs, a etiqueta possui a informação do cumprimento dos pré-requisitos gerais e a indicação de valor de possíveis bonificações que a edificação recebeu na sua avaliação, além da informação sobre os níveis de eficiência da envoltória para o verão e para o inverno, bem como do aquecimento de água. Para edificações multifamiliares é descrito o número de unidades autônomas da edificação e a quantidade de unidades para cada nível de eficiência, visto que cada unidade recebe uma classificação. (Portaria 018, INMETRO, 2012).

As áreas de uso comum das edificações multifamiliares são avaliadas separadamente e recebem uma etiqueta geral com o nível de eficiência energética. São informados os níveis de eficiência para as áreas de uso frequente e para as áreas de uso eventual podendo não ter a informação de algum desses itens caso a edificação não possua. Além disso, também são demonstradas as eventuais

bonificações que as áreas de uso comum recebem na sua avaliação. Uma demonstração da etiqueta concedida pelo PBE Edifica para cada Unidade Habitacional Autônoma, para edificações multifamiliares e para as áreas de uso comum podem ser conferidas na Figura 6.

Figura 6 - Selo PBE Edifica



Fonte: (Portaria 018, INMETRO, 2012).

2.6 Materiais da construção civil

Segundo Magdaleno e Nóbrega (2015) a utilização de matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo da construção civil é um dos princípios básicos da construção sustentável. Para o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2018), além do uso dessas matérias-primas, a redução do consumo energético e do consumo de água e a reutilização, reciclagem e a disposição dos resíduos sólidos gerados na construção também devem ser adotados como princípios para uma construção civil sustentável.

Para Tavares e Lamberts (2004), a prospecção e preparo das matérias-primas compõem o primeiro passo para que a construção se torne sustentável. Segundo eles, os materiais utilizados na construção civil estão entre os maiores consumidores energéticos diretos e indiretos para a sua fabricação.

As técnicas construtivas mais antigas utilizavam recursos naturais como terra e bambu, por exemplo, como matérias-primas de edificações que hoje são consideradas patrimônio da humanidade. Para Barbosa (2005), o esquecimento e a deserção dessas técnicas construtivas foram ocasionados pela densa propaganda feita sobre os materiais industrializados, e a difusão das novas técnicas obtidas com a industrialização foi inevitável à população mais privilegiada. Segundo ele, os materiais utilizados nas épocas mais antigas foram associados à pobreza, movido pelo mau uso dos mesmos por pessoas carentes envolvidas em periferias e zonas rurais.

Um projeto com desenvolvimento voltado para eficiência energética deve abordar e priorizar a utilização de materiais e produtos que favoreçam menor utilização de energia elétrica, principalmente no verão, quando ocupada pelos moradores, podendo ser implementadas na fase de construção.

Recomenda-se que na fase de projeto arquitetônico priorizem-se edificações com condicionamento térmico aceitável aliado a um mínimo consumo de energia, oferecendo proteção adequada contra insolação no verão, amortecimento da temperatura pela utilização de materiais de grande inércia térmica, alta qualidade de ventilação e iluminação, aproveitamento da insolação no inverno e isolamento racional de superfícies externas para proteger os ambientes contra trocas de calor indesejáveis e condensação (BALTAR, KAEHLER E PEREIRA, 2006; apud BASSO, NOGUEIRA E SILVA, 2015).

A utilização, principalmente de materiais isolantes térmicos, ameniza a sensação de desconforto térmico dos ocupantes. Por isso, a escolha dos materiais na fase de projeto é de suma importância para a eficiência energética da edificação quando finalizada.

2.6.1 Materiais de isolamento térmico

Segundo Spinelli, Cambeiro e Konrad (2018), para um material ser considerado como isolante térmico o seu índice de condutividade térmica (λ) deve ser inferior a 0,07 W/mK. Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), condutividade térmica corresponde à propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.

Sendo um material de grande importância na construção civil, a escolha do isolante térmico deve ser feita com muita atenção. Segundo Dutra (2010), alguns dos materiais mais utilizados para isolamento térmico são:

- O Poliuretano projetado, que pode apresentar baixíssimo índice de condutividade térmica ($\lambda = 0,016 - 0,02$ W/mK);
- O Poliuretano ($\lambda = 0,025 - 0,040$ W/mK);
- O Poliestireno Expandido (EPS), o Poliestireno Extrudado (XPS) e a Lã de rocha ($\lambda = 0,035 - 0,040$ W/mK);
- A Lã de vidro ($\lambda = 0,04 - 0,055$ W/mK);

A lã de vidro é extensamente utilizada em todo o mundo, sendo reconhecida como um dos melhores materiais para isolamento térmico. As principais vantagens em se utilizar a lã de vidro consistem em: baixa ou nula propagação de chamas por ser incombustível, fácil manipulação, inexistência de proliferação de fungos ou bactérias ou ataque de roedores e desempenho contínuo quando exposto à maresia (CATAI PENTEADO E DALBERTO, 2006). Além disso, a facilidade em se encontrar no mercado aumenta a sua larga utilização, sendo encontrada em mantas com polietileno, aluminizadas, revestidas com feltro e de fibro-cerâmica.

Ao mesmo tempo, diversas pesquisas no mundo todo buscam por soluções alternativas para o isolamento térmico através de materiais naturais disponíveis na

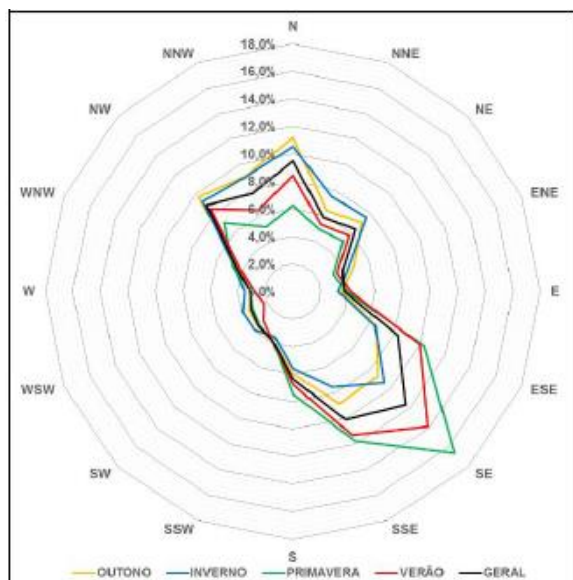
natureza. Essas alternativas vêm de resultados obtidos através de ensaios com os respectivos materiais, onde muitos deles apresentam ser uma solução eficaz para a substituição de materiais industrializados.

2.7 Dados do município de Lajeado/RS

O município de Lajeado fica situado na encosta inferior do planalto meridional, na região central do vale do Taquari, no Rio Grande do Sul. Possui atualmente cerca de 80 mil habitantes e é considerado um importante polo de desenvolvimento por possuir um alto índice de construção civil, devido ao crescimento populacional. O município apresentou um crescimento de 517,7% entre os anos de 1991 e 2011, sendo o setor com maior crescimento relativo, gerando grandes índices de emprego e renda (LAJEADO, 2018).

Segundo Spinelli et al. (2017), devido ao elevado número de dias do ano (entre outubro e fevereiro) em que pode ser utilizada a estratégia bioclimática de ventilação natural na região, a análise da orientação e velocidade dos ventos é fundamental. Através de um estudo com dados sobre orientação dos ventos, coletados entre os anos de 2004 a 2015, para o município de Lajeado/RS, os mesmos autores desenvolveram uma nova rosa dos ventos, a qual pode ser conferida na Figura 7.

Figura 7 - Indicação da direção dos ventos para o município de Lajeado



Fonte: Spinelli et al. (2017).

Segundo Spinelli et al. (2017), o município apresenta predominância para a orientação Sudeste (SE), nas estações verão e primavera, já para a estação inverno, os ventos são orientados com predominância para Norte (N), Sudoeste (NW) e Sudeste. No outono, os ventos são orientados para Norte. A estratégia de ventilação natural pode ser atendida de diversas maneiras, bastando obedecer a orientação das esquadrias coincidentes com a orientação predominante dos ventos da região. Ainda, para Spinelli et al. (2017), além da maior quantidade de esquadrias, o projeto arquitetônico pode prever outros meios para adequar a ventilação natural, como sistemas de efeito chaminé, ventilação geotérmica e aspiradores estáticos, entre outras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tem seu embasamento em uma pesquisa quanti-qualitativa, através de dados climatológicos da região de Lajeado/RS com o objetivo de determinar a eficiência energética do projeto de edificação descrito. Através da análise do projeto é possível determinar o nível de eficiência energética segundo o método prescritivo do RTQ-R.

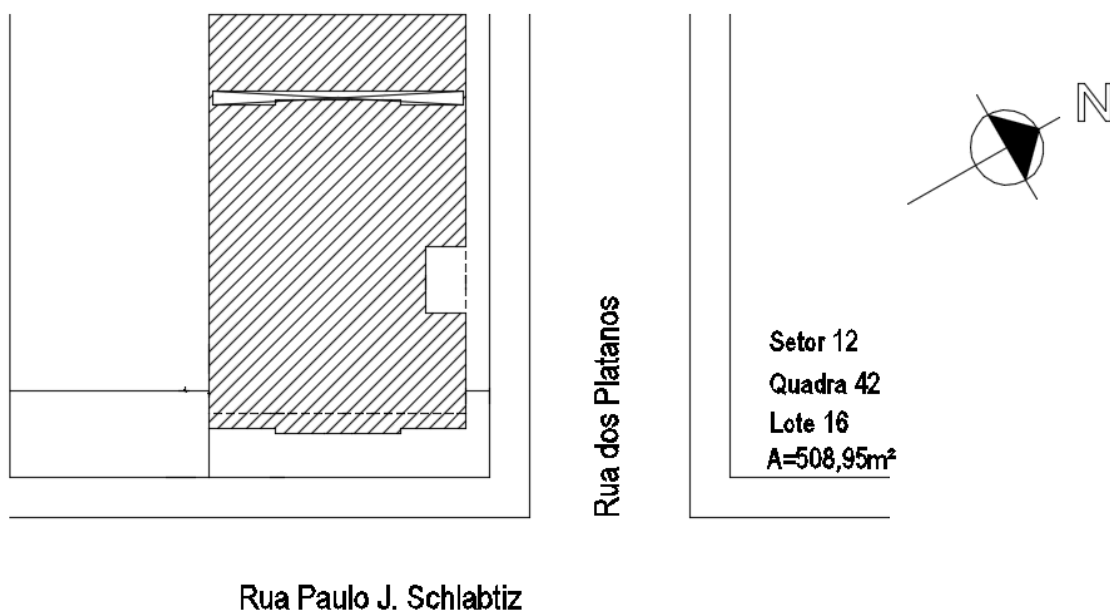
3.1 Descrição do objeto de estudo

O projeto analisado neste trabalho chama-se Morada do Montanha e foi cedido pela empresa GPedó Engenharia e Construções, que atua desde 2005 no município de Lajeado com serviços de projetos, administração e execução de obras. O projeto consiste em um edifício residencial misto, situado no bairro Montanha, neste município, composto por 4 (quatro) pavimentos, sendo o térreo destinado a 3 (três) lojas comerciais e 12 (doze) boxes de garagem. Os outros 3 (três) pavimentos são constituídos por 4 (quatro) unidades habitacionais autônomas em cada pavimento, todos com 2 (dois) dormitórios, sala, cozinha, área de serviço e banheiro social.

A planta baixa do pavimento tipo está representada no Anexo A deste trabalho. A mesma foi utilizada com frequência para retirar dados específicos do projeto, a fim de introduzi-los nas planilhas eletrônicas de análise de cada UH.

O edifício multifamiliar está situado em uma esquina, entre as Ruas Paulo J. Schlabitiz e Platanos. Conforme a Figura 8 nota-se a orientação solar Norte voltada para uma das fachadas, coincidente com o acesso principal dos moradores do edifício.

Figura 8 - Fachada principal do edifício multifamiliar



Fonte: Gpedó Engenharia e Construções, 2018, comunicação pessoal.

Na fachada Leste estão situadas as lojas comerciais, juntamente com os apartamentos de frente à Rua Paulo J. Schlabitiz. Atrás das salas comerciais fica a garagem, com orientação solar Oeste e acima dela também estão localizados os apartamentos de fundo.

Tanto para Leste quanto para Oeste, os apartamentos contam com sacadas na sala de estar. As laterais do edifício, cuja orientação solar é Norte e Sul não contam com sacadas, apenas janelas dos dormitórios e áreas de serviço.

A fachada principal do edifício (FIGURA 9) é destinada às salas comerciais e aos apartamentos de frente. Também se percebe que a fachada Sul não conta com aberturas, por estar na divisa do terreno vizinho. Para isso foi aberto um vão para receber as aberturas dos dormitórios.

Figura 9 - Fachada principal do edifício multifamiliar



Fonte: Gpedó Engenharia e Construções, 2018, comunicação pessoal.

A fachada Norte (FIGURA 10) recebe as aberturas dos dormitórios e a entrada principal dos moradores. A fachada Oeste tem as mesmas características da fachada Leste.

Figura 10 - Fachada Norte do edifício multifamiliar



Fonte: Gpedó Engenharia e Construções, 2018, comunicação pessoal.

A estrutura da edificação é formada por estacas em concreto armado e vigas de baldrame, enquanto que a supra estrutura, por pilares e vigas de concreto armado, alvenaria portante em blocos cerâmicos estruturais de largura igual a 14 cm e lajes com vigotas de concreto armado e tabelas cerâmicas preenchidas por concreto armado. Todas as paredes internas e lajes recebem chapisco, emboço e reboco com massa fina e pintura em PVA na cor branca, já as paredes externas recebem somente chapisco e reboco com massa fina e pintura em tinta acrílica semi-brilho nas cores branca e preta.

O duto das churrasqueiras e as sacadas possuem revestimento com plaquetas cerâmicas de 10x10 cm nas cores preto, branco, cinza e verde, conforme projeto, enquanto o volume da escada recebe pintura acrílica semi-brilho nas cores preta e branca. A garagem e circulações do estacionamento são em concreto alisado, já os pisos internos dos apartamentos, corredores e lojas são em cerâmica. Todos os apartamentos, corredores e lojas recebem lajes devidamente argamassadas com chapisco, emboço e reboco com massa fina e pintura em PVA na cor branca.

Somente as áreas de hall de entrada do apartamento, cozinha, área de serviço e banheiro possuem rebaixo em gesso liso com pintura PVA na cor branca, devido à acessibilidade às instalações hidrossanitárias das unidades. A garagem não possui forro, apenas estrutura metálica e telhas de fibrocimento, na parte em que fica não fica abaixo do edifício. Quanto à cobertura, recebe telhas em fibrocimento de 8 mm com inclinação de 10%, resguardadas por platibanda na altura de 1 metro.

3.2 Método

A determinação do nível de eficiência energética do objeto de estudo segue rigorosamente o que o manual de aplicação do RTQ-R determina, incluindo equações e tabelas, através de dados de entrada obtidos do próprio projeto residencial. Para a realização dos cálculos foi utilizada a planilha eletrônica, disponível no site do [PBE Edifica](#) que amplamente já contempla os pré-requisitos e as equações para todas as Zonas Bioclimáticas.

O trabalho utiliza como base o manual desenvolvido pela Procel Edifica / Eletrobrás, em parceria com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética das Edificações – CB3E. Através do entendimento do manual, foram inseridos os dados constantes nos projetos analisados, na planilha eletrônica. Esta retorna com os dados de saída, indicando o equivalente numérico da eficiência energética da residência analisada, primeiramente para envoltória de cada Unidade Habitacional Autônoma, depois para os requisitos do sistema de aquecimento de água e em seguida as possíveis bonificações quanto ao consumo de energia. A definição do nível de eficiência energética total de cada UH segue a Equação 7.

Equação 7 - Determinação da pontuação total do nível de eficiência da UH

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad (7)$$

Onde:

PT_{UH} : pontuação total do nível de eficiência da UH;

a : coeficiente adotado de acordo com a região geográfica;

$EqNumEnv$: equivalente numérico da envoltória;

$EqNumAA$: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água.

O coeficiente a varia de acordo com a região geográfica em que a edificação está inserida. Conforme Tabela 8, o coeficiente para região Sul é $a = 0,65$.

Tabela 8 - Coeficientes por região geográfica

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Fonte: Manual de aplicação do RTQ-R.

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), a determinação do nível de eficiência energética de edificações multifamiliares corresponde ao produto da ponderação da classificação de cada UH existente no edifício pela área útil das mesmas. Excluem-se, nesse caso, varandas e terraços.

Para cada UH são determinados os equivalentes numéricos da envoltória ($EqNumEnv$), por meio de equações de regressão múltipla conforme a Zona Bioclimática onde a edificação está inserida. São determinados os equivalentes

numéricos de cada UH referentes à eficiência quando a edificação for naturalmente ventilada, e depois são analisados os pré-requisitos. A análise da edificação quando ventilada artificialmente tem caráter informativo, porém deve ser calculada mesmo que naturalmente ventilada, sendo aplicada somente para ambientes que sejam dormitórios. O equivalente numérico da envoltória é definido como um número representativo do desempenho térmico da envoltória de cada UH. No método prescritivo são determinados o desempenho térmico para resfriamento (EqNumEnvResfr) que representa o desempenho térmico da envoltória para o verão, o desempenho térmico para aquecimento (EqNumEnvA) para o inverno e o desempenho térmico para refrigeração (EqNumEnvRefrig) quando a envoltória for condicionada artificialmente. (Portaria 018, INMETRO, 2012)

3.3 Parâmetros significativos ao RTQ-R

Para determinação do nível de eficiência energética da envoltória alguns parâmetros são fundamentais. Dentre eles são destacadas as propriedades térmicas dos materiais que compunham as vedações externas e internas dos ambientes: transmitância térmica, capacidade térmica e absorptância solar. Para a edificação alcançar níveis “A” e “B”, essas propriedades devem atender aos limites estipulados pela NBR 15575 para cada Zona Bioclimática estabelecida na NBR 15220-3.

3.3.1 Transmitância térmica

Definida como o fluxo de calor que atravessa os componentes de vedações, a transmitância térmica tem fundamental importância para a determinação do nível de eficiência energética da envoltória. É um parâmetro encontrado através do método de cálculo constante na NBR 15220-2. Como as paredes são de bloco cerâmico estrutural compostas por 3 tipologias diferentes (bloco normal, U e canaleta L), os valores finais de cada parede e totais do ambiente foram determinadas através da média ponderada entre os valores encontrados para cada bloco e suas respectivas áreas de influência em cada parede.

Os limites de transmitância térmica de paredes e coberturas estão representados na Tabela 9 e foram retiradas da NBR 15575 – Parte 4 para as paredes e Parte 5 para coberturas.

Tabela 9 - Limites de transmitância térmica para ZB 2

Zona Bioclimática 2	
Paredes	Coberturas
$U \leq 2,50$	$U \leq 2,30$

Fonte: Adaptado das NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

Os blocos cerâmicos estruturais foram divididos em seções a fim de facilitar o cálculo da transmitância térmica. O cálculo completo de cada tipologia de bloco está representado no Apêndice A deste trabalho. Após encontrar valores individuais de transmitância térmica para cada tipo de bloco (TABELA 10), foi feita a média ponderada entre os valores encontrados e a suas áreas em cada parede.

Tabela 10 – Transmitância térmica de cada tipologia de bloco cerâmico estrutural

Bloco normal (14x19x29)	Bloco “U”	Bloco “L”
$U = 2,08$	$U = 3,17$	$U = 3,07$

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

Depois disso também através de média ponderada entre a transmitância térmica de cada parede e suas respectivas áreas, foi determinada a transmitância térmica de cada Ambiente de Permanência Prolongada (APP), conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Transmitância térmica por parede e final de cada APP

APARTAMENTOS 201/301/401								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	U	Ufinal		U	Ufinal		U	Ufinal
Parede Norte	2,19	2,20	Parede Norte	2,21	2,20	Parede Leste	2,22	2,22
Parede Leste	2,21		Parede Oeste	2,19				
APARTAMENTOS 202/302/402								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	U	Ufinal		U	Ufinal		U	Ufinal
Parede Sul	2,21	2,20	Parede Sul	2,21	2,20	Parede Leste	2,22	2,22
Parede Leste	2,19		Parede Oeste	2,19				
APARTAMENTOS 203/303/403								
DOMRITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	U	Ufinal		U	Ufinal		U	Ufinal
Parede Sul	2,19	2,20	Parede Sul	2,19	2,20	Parede Oeste	2,22	2,22
Parede Oeste	2,21		Parede Leste	2,23				
APARTAMENTOS 204/304/404								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	U	Ufinal		U	Ufinal		U	Ufinal
Parede Norte	2,19	2,20	Parede Norte	2,21	2,20	Parede Oeste	2,22	2,22
Parede Oeste	2,21		Parede Leste	2,19				

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

Por possuírem praticamente o mesmo tamanho, todas as UHs ficaram com os mesmos valores para cada APP. Os valores encontrados para a transmitância térmica total de cada APP atendem à NBR 15575-4.

3.3.2 Capacidade térmica

A capacidade térmica é definida como a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. Também é definida através do método de cálculo constante na NBR 15220-2 e a forma de determinação dos valores finais e totais é semelhante à transmitância térmica. Nesse caso, segundo o RTQ-R, além da determinação dos valores para as paredes externas, é determinada também a capacidade térmica das paredes internas. Ao mesmo tempo é feita a média ponderada entre as paredes internas e externas. Ambos os dados são utilizados na planilha de cálculo da eficiência energética.

Para paredes e coberturas, os limites da capacidade térmica estão apresentados na Tabela 12, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013).

Tabela 12 - Limites de capacidade térmica para ZB 2

Zona Bioclimática 2	
Paredes	Coberturas
CT \geq 130 kJ/m ² K	Sem exigência

Fonte: Adaptado das NBR 15575-4 e NBR 15575-5.

Assim como a transmitância térmica, a capacidade térmica também foi obtida através de médias ponderadas entre os valores encontrados de cada tipologia de bloco, demonstrado na Tabela 13, pelas suas respectivas áreas. O cálculo completo da capacidade térmica dos diferentes tipos de bloco está demonstrado no Apêndice A deste trabalho.

Tabela 13 – Capacidade térmica de cada tipologia do bloco cerâmico estrutural

Bloco normal (14x19x29)	Bloco “U”	Bloco “L”
CT = 183,53 kJ/m ² K	CT = 356,43 kJ/m ² K	CT = 334,70 kJ/m ² K

Fonte: elaborado pelo Autor (2018).

Em seguida, foram feitas as médias ponderadas entre a capacidade térmica de cada parede e suas respectivas áreas em cada APP. A Tabela 14 apresenta os valores encontrados para cada parede, bem como o valor da capacidade térmica total de cada APP.

Tabela 14 – Capacidade térmica das paredes externas e final de cada APP

APARTAMENTOS 201/301/401								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Norte	200,57	202,65	Parede Norte	204,48	202,66	Parede Leste	206,05	206,05
Parede Leste	204,40		Parede Oeste	200,57				
APARTAMENTOS 202/302/402								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Sul	204,40	202,65	Parede Sul	200,57	202,66	Parede Leste	206,05	206,05
Parede Leste	200,57		Parede Oeste	206,65				
APARTAMENTOS 203/303/403								
DOMRITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Sul	200,57	202,65	Parede Sul	200,57	202,66	Parede Oeste	206,05	206,05
Parede Oeste	204,40		Parede Leste	206,69				
APARTAMENTOS 204/304/404								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Norte	200,57	202,65	Parede Norte	204,48	202,66	Parede Oeste	206,05	206,05
Parede Oeste	204,40		Parede Leste	200,57				

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

Os valores encontrados para a capacidade térmica das paredes externas de cada APP atendem à NBR 15575, ou seja, todos os valores são superiores a 130 kJ/m²K. Todas as UHs obtiveram valores iguais para cada APP, pois a diferença de área útil dos apartamentos é muito pequena, sendo os ambientes com o mesmo tamanho.

Ao mesmo tempo foram encontradas as médias das capacidades térmicas entre as paredes externas e internas, pois os valores encontrados também foram utilizados na planilha de cálculo da eficiência energética da envoltória.

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos para a capacidade térmica das paredes internas e externas.

Tabela 15 – Capacidade térmica das paredes externas e internas, e final de cada APP

APARTAMENTOS 201/301/401								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Interna	202,09	202,35	Parede Interna	202,66	202,66	Parede Interna	202,49	203,25
Parede Externa	202,65		Parede Externa	202,66		Parede Externa	206,04	
APARTAMENTOS 202/302/402								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Interna	202,09	202,35	Parede Interna	202,66	202,66	Parede Interna	202,49	203,25
Parede Externa	202,65		Parede Externa	202,66		Parede Externa	206,04	
APARTAMENTOS 203/303/403								
DOMRITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Interna	202,09	202,35	Parede Interna	202,66	202,66	Parede Interna	202,49	203,25
Parede Externa	202,65		Parede Externa	202,66		Parede Externa	206,04	
APARTAMENTOS 204/304/404								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
	CT	CTfinal		CT	CTfinal		CT	CTfinal
Parede Interna	202,09	202,35	Parede Interna	202,66	202,66	Parede Interna	202,49	203,25
Parede Externa	202,65		Parede Externa	202,66		Parede Externa	206,04	

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

Os valores das capacidades térmicas médias de cada ambiente também atendem à NBR 15575. Novamente foram encontrados valores iguais para cada ambiente justificando a semelhança entre todas as UHs.

3.3.3 Absortância solar

A absortância solar corresponde à relação entre a taxa de radiação solar absorvida pela taxa de radiação solar incidente na superfície do material. Em seu contexto, a NBR 15220-2 apresenta uma tabela com os valores pré-fixados de alguns materiais e cores de pintura. Todas as paredes externas do edifício analisado foram pintadas com tinta acrílica semi-brilho de cor branca, onde, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), o seu valor adimensional é estipulado em 0,20. Já o Anexo V da Portaria 050 (INMETRO, 2013) expresso como “Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros”, segmenta as cores de pinturas entre os

tipos de tintas. A Figura 11 apresenta os valores da tinta acrílica semi-brilho, a qual foi utilizada na edificação.

Figura 11 - Absortância sola de tintas acrílicas semi-brilho

Acrílica Semi-brilho	18	Amarelo Antigo	49,7
	19	Amarelo Terra	68,6
	20	Azul	79,9
	21	Branco Gelo	36,2
	22	Cinza	86,4
	23	Cinza BR	61,1
	24	Crepúsculo	66,0
	25	Flamingo	47,3
	26	Marfim	33,9
	27	Palha	39,6
	28	Pérola	33,9
	29	Preto	97,1
	30	Telha	69,6
	31	Terracota	68,4
	32	Verde Quadra	75,5
	33	Vermelho	64,2

Fonte: Portaria 050 (INMETRO, 2013).

Identificada através do projeto da edificação a cor mais próxima da realidade, segundo o Anexo V da Portaria 050 (INMETRO, 2013) foi utilizada a cor branco gelo. Sendo assim, o valor introduzido na planilha da eficiência da envoltória foi 0,362.

3.4 Tipologias

Os apartamentos possuem muita semelhança, tanto na ordenação dos ambientes internos, quanto em suas áreas úteis. Para este projeto, optou-se por trabalhar com cada apartamento individualmente, considerando cada apartamento uma Unidade Habitacional autônoma (UH), sendo separados por alinhamento vertical e por pavimento, conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Consolidação das tipologias do edifício

UH	ÁREA ÚTIL (m ²)
201/301	66,65
202/302	67,13
203/303	67,13
204/304	66,65
401	66,65
402	67,13
403	67,13
404	66,65

Fonte: elaborado pelo Autor (2018)

Optou-se por separar deste modo pela semelhança entre os apartamentos. Todos os apartamentos com final 01 são alinhados a Nordeste, com final 02 a Sudeste, com final 03 a Sudoeste e com final 04 a Noroeste, todos no segundo e terceiro pavimentos da edificação. As UHs do quarto pavimento são consideradas coberturas, por isso foram separadas das demais. A planta baixa do pavimento tipo pode ser verificada no Anexo A deste trabalho.

3.5 Planilha de análise da envoltória das UHs

A primeira etapa para encontrar o nível de eficiência energética da UH é analisar a sua envoltória. Através da planilha de cálculo é possível determinar os níveis de eficiência energética, indicando o seu equivalente numérico (EqNumEnv) antes e depois de avaliar os pré-requisitos de cada ambiente e da UH como um todo. Na mesma planilha de cálculo é possível adquirir o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água e ainda somar as possíveis bonificações.

3.5.1 Zona Bioclimática

A Zona Bioclimática, determinada através da NBR 15220-3, é um item muito importante e o primeiro a ser introduzido na planilha de cálculo. Ao inserir a ZB a qual a edificação pertence, a planilha automaticamente adequa-se para as equações de regressão múltipla de tal ZB, uma vez que para cada ZB existem estratégias diferentes para alcançar o conforto térmico, o que implica em alterações no consumo de energia e diferentes equações para encontrar o nível de eficiência energética. O município de Lajeado está inserido na ZB 2, segundo a NBR 15220-3.

3.5.2 Ambientes de Permanência Prolongada (APPs)

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), são considerados Ambientes de Permanência Prolongada, aqueles que se caracterizam como de uso contínuo por um ou mais indivíduos. São exemplos: salas de estar/jantar, dormitórios, escritórios, salas íntimas ou similares. Não são caracterizados como APPs: áreas de serviço, cozinhas, banheiros, varanda aberta, garagem e outros que sejam de ocupação transitória. Porém, ambientes que não possuem divisórias do piso até o teto, são

considerados extensão dos ambientes de permanência prolongada. É o que acontece com a sala, cozinha e área de serviço do projeto estudado, pois as divisórias destes ambientes são bancadas que não vedam os espaços do piso até o teto, por isso, as áreas úteis destes ambientes são incluídas nos cálculos da sala de estar/jantar.

O projeto analisado neste trabalho conta com 3 (três) APPs por UH. São eles: dormitório de casal, dormitório de solteiro e sala de estar/jantar. Além de especificar o nome do ambiente, é nessa etapa que é inserida a área útil do mesmo. É necessário que a envoltória, bem como os pré-requisitos da envoltória sejam analisados individualmente para cada APP, conforme planilhas de cálculo.

3.5.3 Situação piso e cobertura

Nessa etapa são inseridas as variáveis que determinam se o ambiente possui cobertura voltada para o exterior, se possui contato direto com o solo e se está sobre pilotis. Como o primeiro pavimento é ocupado pelas lojas comerciais e garagem, nenhum pavimento residencial está em contato com solo, bem como não estão sobre pilotis, segundo o projeto. Apenas o último pavimento recebe influência da cobertura, sendo este campo preenchido com a variável 1 para determinar que há cobertura voltada para o exterior nas UHs deste pavimento.

3.5.4 Cobertura

O quarto pavimento da edificação possui cobertura voltada para o exterior. Aqui são inseridas as propriedades térmicas da cobertura: transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar. Para as UHs situadas neste pavimento, os campos foram preenchidos conforme respectivos dados das propriedades térmicas.

Segundo o memorial descritivo da edificação, a cobertura conta com laje pré-moldada de 12 cm sendo 4 cm de concreto, lajota cerâmica de 7 cm e argamassa de 1 cm, uma câmara de ar e telhas de fibrocimento de espessura 8 cm. No catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Anexo V do RAC), são

especificadas as propriedades térmicas do mesmo modelo utilizado na edificação, sendo apresentadas na Figura 12.

Figura 12 – Propriedades térmicas da cobertura

Diagrama de uma cobertura em telha fibrocimento. A estrutura é composta por uma laje pré-moldada com cerâmica de 12cm, uma câmara de ar e uma telha fibrocimento. A laje pré-moldada é formada por uma camada de concreto de 4cm, uma camada de cerâmica de 7cm e uma camada de argamassa de 1cm. A câmara de ar tem uma altura superior a 5,0 cm. A telha fibrocimento tem uma espessura de 0,8cm.

Descrição:

Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)
Câmara de ar (> 5,0 cm)
Telha fibrocimento 0,8cm

U	C _T
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]
1,79	180

Fonte: Portaria 050 (INMETRO, 2013).

Os valores das propriedades térmicas constantes do catálogo atendem à NBR 15575-5, com transmitância térmica menor que 2,30 W/(m²K). Para a capacidade térmica a norma não exige valor mínimo ou máximo.

Quanto à absorvência solar das telhas de fibrocimento, a exatidão do seu valor não é possível, pois não foram realizados testes de radiação solar diretamente em sua superfície. Silveira, Marinoski e Lamberts (2012) em seu experimento com telhas de fibrocimento, encontraram valores de absorvência solar para telhas novas, sujas, lavadas e pintadas de branco, os quais estão demonstrados na Figura 13.

Figura 13 – Absorvência solar de telhas de fibrocimento

Amostra	Absorvência total - α (%)
Telha suja	84,4%
Telha nova	59,3%
Telha lavada	51,1%
Telha pintada de branco	10,7%

Fonte: Silveira, Marinoski e Lamberts (2012).

O atual trabalho avalia a eficiência energética da edificação na entrega da obra, o que determina que as telhas de fibrocimento sejam novas. Ou seja, para as UHs localizadas no último pavimento, com a cobertura voltada para o exterior, o

dado de entrada da absorvência solar na planilha de cálculo foi 0,593 (59,3%). Para o restante das UHs situadas nos pavimentos inferiores, essa variável foi preenchida com valor igual a zero.

3.5.5 Paredes externas

Nessa parte da planilha são inseridos os dados das propriedades térmicas das paredes externas. As planilhas de cálculos da transmitância térmica e da capacidade térmica estão demonstradas no Apêndice A e os valores para cada UH estão demonstrados nos itens 3.3.1 e 3.3.2 deste trabalho. Deve ser inserida aqui a transmitância térmica das paredes externas e a capacidade térmica das paredes externas e internas. Para isso, novamente utilizou-se a média ponderada entre a capacidade térmica das paredes externas e internas pelas suas respectivas áreas. A planilha também solicita em outro lugar a capacidade térmica apenas das paredes externas.

3.5.6 Características construtivas

Deve-se indicar se a capacidade térmica encontrada para cada APP é alta ou baixa. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) se o valor encontrado estiver entre 50 e 250 kJ/m²K não é considerada nem baixa e nem alta. Se estiver abaixo desse limite, preenche-se 1 na variável CTbaixa e 0 na variável CTalta. Caso estiver acima desse limite, faz-se o contrário. Porém nunca se deve preencher com 1 os dois campos ao mesmo tempo. Todos os valores encontrados neste trabalho ficam no intervalo estipulado como limite pelo RTQ-R, por isso CTbaixa e CTalta foram preenchidos com 0 em todas as planilhas de avaliação da envoltória.

3.5.7 Áreas de paredes externas

Neste item são inseridas as áreas das paredes externas de cada APP, conforme o projeto da edificação. São descartadas as áreas de aberturas, como janelas e portas. Só é considerada área de parede externa a parcela referente aos limites internos do ambiente com o exterior. As orientações solares que não possuem paredes voltadas para o exterior devem ser preenchidas com zero.

3.5.8 Área de aberturas externas

Para as áreas de aberturas externas são considerados os vãos nas paredes antes da colocação das esquadrias. São inseridas as áreas dos vãos de cada orientação solar que contenha aberturas, conforme o projeto da edificação.

3.5.9 Características das aberturas

São inseridas aqui as características das aberturas referentes à ventilação e sombreamento, indicados na planilha eletrônica como “Fvent” e “Somb”. São duas variáveis adimensionais que indicam a proporção da abertura do vão para ventilação e a proporção da abertura que está sendo sombreada por dispositivos de proteção solar, respectivamente.

As aberturas externas dos dormitórios são do tipo camarão e contam com 2 folhas de vidro e venezianas de madeira. Já a janela da sala de estar/jantar, é uma porta-janela com 2 folhas de vidro de correr e persiana integrada. O detalhamento das aberturas, seus respectivos valores de áreas para iluminação e ventilação, bem como o fator de ventilação “Fvent”, estão representados no Apêndice E deste trabalho. Verifica-se que cada abertura possui valores variados, pois as mesmas possuem tamanhos diferentes.

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), a variável que define a proporção de sombreamento das aberturas pode ser valores entre zero e 1 (um), dependendo do dispositivo de proteção solar instalado em cada abertura. Para as aberturas dos dormitórios que possuem venezianas, possibilitando que todo o vão seja completamente fechado e protegido do sol, essa variável deve ser igual a 1 (um).

Já a sala de estar/jantar possui sacada em todos os pavimentos residenciais, o que proporciona um sombreamento direto em suas aberturas. Segundo o Anexo I da Portaria 018 (INMETRO, 2012) para esse tipo de dispositivo solar, deve-se utilizar a carta solar da cidade ou região onde a edificação está localizada e verificar os ângulos de proteção solar recomendados para tal, dependendo da latitude do município. Ao mesmo tempo devem ser verificados os ângulos do projeto, sendo

obtidos através do sombreamento da sacada na planta baixa, no corte e na fachada da edificação. Os mesmos devem ser comparados através da Equação 8.

Equação 8 – Determinação da variável de sombreamento

$$somb_{abertura} = \frac{\alpha_p + \gamma_{ep} + \gamma_{dp} + \beta_{ep} + \beta_{dp}}{\alpha_r + \gamma_{er} + \gamma_{dr} + \beta_{er} + \beta_{dr}} \quad (8)$$

Onde:

p: ângulos de projeto

r: ângulos recomendados

A determinação dos ângulos recomendados para a cidade de Lajeado foi feita com o auxílio do programa Analysis So-Lar, que permite a obtenção da carta solar inserindo a latitude específica da cidade. Os ângulos recomendados são: α : 35°, γ_e : 90°, γ_d : 75°, β_e : 25° e β_d : 10°. Já os ângulos encontrados no projeto são: α : 57,87°, γ_e : 80°, γ_d : 80°, β_e : 33,70° e β_d : 27,33°. Sendo que ao inserir na Equação 8, os ângulos de projeto não podem ser superiores aos ângulos recomendados, temos que a variável $somb_{abertura}$ é igual a 0,9574.

Segundo o RTQ-R, deve-se considerar que 0,75 de $somb_{abertura}$ correspondem a um valor de “somb” igual a 0,5, sendo obtido através de regra de três. Ainda segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), valores acima de 0,5 devem ser considerados 1. Por regra de três, a variável “somb” encontrada é igual a 0,638, porém adota-se 1 na planilha de cálculo da eficiência energética para a envoltória, por ser um valor superior a 0,5.

3.5.10 Características gerais

Neste item é inserido o valor total das áreas das paredes internas dos APPs, desconsiderando os vãos de aberturas, bem como o pé-direito de cada ambiente. Todas as UHs possuem pé-direito de 2,65 metros. As áreas das paredes internas variam em cada ambiente.

3.5.11 Características de isolamento térmico

Aqui entram informações como: isolamento térmico das paredes externas e coberturas, existência de vidro duplo nas aberturas e a transmitância térmica dos vidros existentes no ambiente. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) são dados obrigatórios apenas para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2. Porém, de acordo com o memorial descritivo da obra, apesar de estar situada na ZB 2, as paredes e coberturas não contam com isolamento térmico, tampouco com vidros duplos em nenhum dos ambientes. Sendo assim essas variáveis foram preenchidas com zero, conforme planilha eletrônica.

Quanto aos vidros utilizados na edificação, segundo o memorial descritivo todos são transparentes de espessura igual a 4 mm. Utilizou-se o Catálogo de propriedades térmicas dos vidros da Guardian Sunguard, cujos vidros possuem Selo Procel certificado pelo PBE Edifica, e verificou-se que a transmitância térmica do mesmo é $U = 3,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}^0$, conforme Figura 14.

Figura 14 – Transmitância térmica do vidro

Aparência	Produto	Substrato do Vidro	Fatores Visíveis			NFRC 100-2004 e NFRC 200-2004						
			Transmissão Luminosa %	Reflexão Externa %	Reflexão Interna %	Absorção %	Valor-U (Dia) W/m².°C	Coefficiente de Sombra	Fator Solar	Ganho relativo de Calor W/m²	Luz por Ganho de Calor	UV %
SunGuard® Solar			Face #2							Espessura de 4 mm		
Clear	Neutral 14	on Clear	14	32	40	58	3,53	0,29	25	212	0,57	12

Fonte: Catálogo de propriedades térmicas dos vidros, Guardian Sunguard (2018).

3.6 Planilha de análise do sistema de aquecimento de água

O RTQ-R avalia os sistemas de aquecimento de água que foram entregues pelo empreendedor ao fim da obra. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012), sistemas de espera para futuras instalações não são consideradas. O mesmo determina que para a Região Sul, caso não exista nenhum sistema de aquecimento de água, deve-se adotar 1 para o equivalente numérico de aquecimento de água (EqNumAA), ou seja, nível “E”.

O empreendedor entregou a obra com tubulações de CPVC para água quente, porém o edifício não conta com sistema de aquecimento solar, bombas de calor e caldeiras a óleo. Neste trabalho serão oferecidas duas opções para o sistema de aquecimento da água: a gás ou elétrico. A fim de alavancar ainda mais o nível de eficiência energética, também será simulada a utilização de sistema de aquecimento solar.

3.6.1 Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) um dos pré-requisitos do sistema de aquecimento de água para obtenção dos níveis “A” ou “B”, diz respeito às tubulações de água quente. Se as mesmas forem metálicas devem comprovar condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/mK com isolamento térmico de 1,0 cm para diâmetro nominal abaixo de 40 mm e 2,50 cm para diâmetro nominal acima de 40 mm. Para tubulações não metálicas, deve-se comprovar 1,0 cm de isolamento térmico para qualquer diâmetro nominal com os mesmos valores de condutividade térmica.

A análise feita no projeto da edificação demonstrou que as tubulações de água quente não possuem isolamento térmico e são de CPVC. Segundo o Catálogo Técnico Predial da empresa Tigre (AQUATHERM, 2011), a condutividade térmica média das tubulações de CPVC para água quente é igual a 0,14 W/mK, com diâmetro nominal igual a 41,3 mm. Por não possuir tubulações metálicas nem isolamento térmico, os pré-requisitos não foram atendidos completamente.

Portanto, para todas as UHs o nível máximo atingido no sistema de aquecimento de água é nível “C”, não podendo atingir níveis “A” ou “B” mesmo que o equivalente numérico dos sistemas de aquecimento de água instalados na edificação permita.

3.6.2 Sistema de aquecimento a gás

Considerando que o aquecedor a gás instalado na edificação atenda a todas as UHs na totalidade de pontos de água quente, que o mesmo possua classificação

ENCE nível “A” pelo PBE e que a potência do sistema e o volume de armazenamento informado pelo projetista estejam atendendo aos pré-requisitos de vazão e consumos diários estipulados pelo RTQ-R, o nível de eficiência energética do sistema de aquecimento de água obtido é o máximo, ou seja, nível “A”. Porém, por não atender aos pré-requisitos gerais do sistema, as UHs são atribuídas com o nível máximo que pode ser atingido, ou seja, nível “C” e 3 pontos no equivalente numérico.

3.6.3 Sistema de aquecimento elétrico

Para a determinação do nível de eficiência do sistema de aquecimento elétrico é analisada a potência dos aparelhos, que deve fazer parte do PBE. Para aparelhos com potência ≤ 4.600 W é atribuído nível “D”, já aparelhos com $P > 4.600$ W recebem nível “E”. Para aparelhos com potência regulável, como é o caso de chuveiros, que trabalham nas funções inverno/verão, utiliza-se a maior potência para classificação.

Segundo o RTQ-R, na região Sul do país não é aceitável a ausência de sistemas de aquecimento de água. Por isso, no caso da utilização do sistema elétrico para aquecimento de água, principalmente nos chuveiros e duchas elétricas, é justificável o nível de eficiência energética baixo, oscilando entre “D” e “E” dependendo da potência dos aparelhos.

3.7 Planilha de análise de bonificações

Bonificação são iniciativas que aumentem o desempenho térmico da edificação e conseqüentemente o nível de eficiência energética da mesma. As bonificações são somadas ao equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) e ao equivalente numérico do sistema de aquecimento de água (EqNumAA). As planilhas demonstrativas da análise feitas para cada UH referente às bonificações estão no Apêndice B deste trabalho.

3.7.1 Ventilação natural

As bonificações por iniciativas voltadas para ventilação natural da edificação podem somar juntas até 0,40 pontos.

3.7.1.1 Porosidade

A porosidade pode somar 0,12 pontos ao equivalente numérico da UH, desde que pelo menos duas fachadas atendam à porosidade mínima estipulada para cada pavimento. Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) para o primeiro e segundo pavimento, duas fachadas devem atender a pelo menos 20% de porosidade. No terceiro pavimento a porosidade atendida deve ser de 16%. No quarto e quinto pavimentos a mesma deve ser de 14% e assim sucessivamente. Verifica-se nas planilhas de avaliação das bonificações constantes do Apêndice B deste trabalho, que nenhuma UH atendeu a este quesito, não sendo adicionada a bonificação de 0,12 pontos.

3.7.1.2 Dispositivos especiais

Dispositivos especiais como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento, e outros dispositivos que favoreçam o desempenho da ventilação natural, permitindo o controle da luz natural, da incidência de chuvas e dos raios solares e a manutenção da privacidade, somam 0,16 pontos. Todos os APP possuem venezianas móveis, por isso todas UHs somaram 0,16 pontos nesta bonificação.

3.7.1.3 Centro geométrico

Para garantir 0,06 pontos somados ao equivalente numérico, todos os ambientes devem apresentar aberturas cujo vão livre tenha centro geométrico entre 0,40 e 0,70 metros medidos a partir do piso. Verificou-se no projeto que todas as janelas, exceto a porta-janela da sala de estar/jantar, possuem peitoril de 90 cm. Sendo assim, nenhuma UH garantiu esta bonificação.

3.7.1.4 Permeabilidade

Este quesito só é obrigatório para a Zona Bioclimática 8, não se aplicando para a Zona Bioclimática de Lajeado/RS.

3.7.2 Iluminação natural

As bonificações por iniciativas voltadas para iluminação natural da edificação podem somar juntas até 0,30 pontos.

3.7.2.1 Profundidade

A maioria (50% mais 1) dos APPs, cozinha e área de serviço, devem ter profundidade menor que 2,4 vezes a medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação natural, excluindo-se os caixilhos. A bonificação por profundidade é de 0,20 pontos. De todos os ambientes analisados, a sala de estar/jantar é a única que não atende a este quesito, por possuir uma profundidade muito grande. Como todas as UHs são semelhantes, nenhuma delas garantiu esta bonificação. O cálculo de demonstração com uma das UHs está no Apêndice C deste trabalho.

3.7.2.2 Refletância

Todos os APPs, cozinha e área de serviço devem atender a refletância mínima de 60% para o teto para adquirir bonificação de 0,10 pontos. É o que acontece com esta edificação, onde todos os ambientes têm seu teto pintado de branco, com refletância acima de 60%. Segundo Castro e Labaki (2001), a partir de uma análise espectral em tintas cedidas pela empresa Tintas Coral, a refletância da cor branca para pintura é igual a 72,93%. Portanto, neste quesito são somados 0,10 pontos ao equivalente numérico da UH.

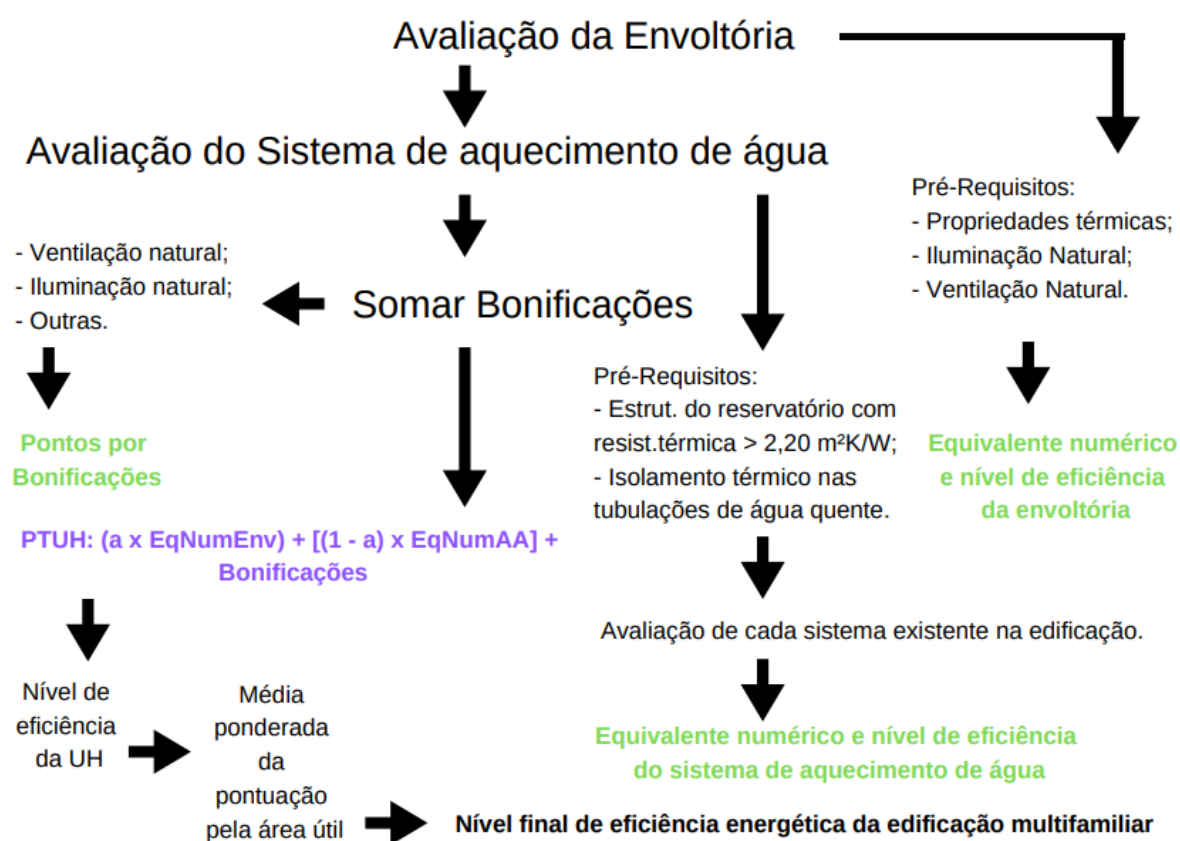
3.7.3 Outras bonificações

O somatório de outras bonificações pode chegar a 0,80 pontos, sendo distribuídos da seguinte forma:

- Até 0,20 pontos, caso a UH possua sistema de racionamento de água, como utilização de água da chuva ou equipamentos economizadores de água. O edifício não apresenta sistema de racionamento de água, não pontuando nesta bonificação;
- Até 0,20 pontos, caso o empreendedor tenha entregado a obra com equipamentos de condicionamento artificial de ar. Além disso, para obtenção desta bonificação, a UH deve atingir nível “A” quando refrigerada artificialmente. A envoltória das UHs não atingiu nível “A” quando refrigerada artificialmente, por isso nenhuma delas pontuou nesta bonificação;
- Até 0,10 pontos, caso a UH possuir 100% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes. As lâmpadas devem ser entregues pelo empreendedor juntamente com o término da obra. Aqui, caso sejam utilizadas lâmpadas de LED em todos os pontos de iluminação, as UHs somariam 0,10 pontos no equivalente numérico. Caso sejam utilizadas as mesmas lâmpadas em 50% dos pontos de iluminação, somariam 0,05 pontos, e em menos de 50% não pontuariam nesta bonificação. Verificou-se que todas as lâmpadas instaladas ao término da obra são LED, pontuando 0,10 pontos em todas as UHs;
- 0,10 pontos, caso a obra entregue possua ventiladores de teto com Selo Procel em pelo menos 2/3 dos APPs. Nenhuma UH possui ventiladores de teto, por isso não pontuaram nessa bonificação;
- 0,10 pontos, caso a obra entregue possua refrigeradores com Selo Procel ou ENCE nível “A”, além de garantir as condições adequadas de instalação conforme recomendações do seu fabricante. Foi simulada a utilização de aparelhos refrigeradores com nível “A” e cada UH adquiriu 0,10 pontos nesta bonificação;
- 0,10 pontos, caso o sistema de aquecimento de água quente possua medição individualizada por UH. Cada UH adquiriu esta bonificação somando ao equivalente numérico.

O valor total das bonificações pode ser conferido por UH no Apêndice B. O somatório das bonificações é adicionado ao equivalente numérico da envoltória e do sistema de aquecimento de água para a determinação final do nível de eficiência energética. Ao final, cada UH recebeu 0,56 pontos de bonificações por possuírem algumas iniciativas voltadas para a ventilação e iluminação natural. Para melhor entendimento da metodologia do RTQ-R para determinação da eficiência energética das edificações multifamiliares, a Figura TAL apresenta um fluxograma com as etapas utilizadas pelo método.

Figura 15 – Fluxograma das etapas para determinação da eficiência energética



Fonte: elaborado pelo Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Envoltória das UHs antes de avaliar os pré-requisitos

Cada UH recebeu uma avaliação antes de serem analisados os pré-requisitos de cada ambiente e da UH como um todo. Essa avaliação diz respeito aos indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR) e indicadores de consumo relativo para aquecimento (CA) e refrigeração (CR) e são analisados por ambiente de permanência prolongada de cada UH. Os resultados dessa avaliação inicial estão apresentados no Quadro 4, conforme tipologias. Já as planilhas completas de avaliação de cada UH encontra-se no Apêndice F deste trabalho.

Quadro 4 - Indicadores de consumo dos APPs por UH (bloco cerâmico estrutural)

Bloco cerâmico estrutural												
UH	201/301			202/302			203/303			204/304		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
(GHR) (°C.h)	D	D	D	C	C	C	C	C	C	D	D	C
	7045	7123	7288	5848	6472	5071	5835	6232	4869	7029	6503	5782
(CA) (kWh/m².ano)	B	A	A	B	B	A	B	B	A	B	B	A
	16,46	15,07	8,95	17,41	18,99	10,13	16,82	19,69	9,63	15,81	15,74	8,34
(CR) (kWh/m².ano)	D	E		D	E		D	E		D	E	
	19,62	29,69		19,46	27,82		18,16	29,78		18,39	27,66	
UH	401			402			403			404		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
(GHR) (°C.h)	E	D	E	D	D	D	D	D	D	E	D	D
	8604	8495	9085	7407	7844	7719	7393	7604	7517	8588	7874	8429
(CA) (kWh/m².ano)	B	B	A	B	B	A	B	B	A	B	B	A
	21,66	21,48	12,01	22,61	25,40	13,459	22,03	26,10	12,96	21,01	22,15	11,66
(CR) (kWh/m².ano)	D	E		D	E		D	E		D	E	
	21,94	32,07		21,79	30,20		20,48	32,15		20,72	30,04	

Fonte: o autor (2018).

Observa-se que para o inverno (CA) a envoltória obteve bons níveis de eficiência energética em todas as UHs, oscilando entre nível “A” e “B”. Caso a envoltória dos ambientes fosse refrigerada artificialmente (CR), a eficiência energética da envoltória teria um comportamento muito ruim, obtendo níveis “D” e “E” para os dormitórios de casal e de solteiro, respectivamente. Para adquirir bonificação de condicionamento de ar, as envoltórias das UHs precisariam obter nível “A” neste quesito, mesmo que ele seja apenas demonstrativo. Os indicadores de graus-hora para o verão (GHR) obtiveram piores níveis para as tipologias voltadas para o Norte (tipologias 201/301/401 e 204/304/404) com níveis entre “C” e “D” para os pavimentos inferiores e “D” e “E” para as coberturas. As tipologias voltadas para Sul (202/302/402 e 203/303/403) obtiveram níveis intermediários iguais a “C” para os pavimentos inferiores e “D” para as coberturas.

As envoltórias das UHs foram comparadas supondo que as paredes do edifício sejam feitas com tijolo maciço, método de construção bastante utilizado nesta região. Alterou-se os valores das transmitâncias e capacidades térmicas dos ambientes. Os cálculos da transmitância e capacidade térmica do tijolo maciço estão apresentados no Apêndice D deste trabalho, e sua determinação se deu da mesma forma do bloco estrutural, através de médias ponderadas. O Quadro 5 apresenta os indicadores de consumo GHR, CA e CR quando utilizado o tijolo maciço.

Quadro 5 - Indicadores de consumo dos APPs por UH (tijolo maciço)

Tijolo maciço												
UH	201/301			202/302			203/303			204/304		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
(GHR) (°C.h)	D	D	D	C	D	C	C	D	C	D	D	C
	7570	7573	6955	6429	6969	5687	6388	6744	5499	7537	6998	6286
(CA) (kWh/m².ano)	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A
	14,42	12,23	7,60	15,16	16,21	9,12	14,59	16,89	8,62	13,74	12,89	7,35
(CR) (kWh/m².ano)	D	E		D	E		D	E		D	E	
	18,05	27,50		17,78	25,53		16,63	27,36		17,02	24,43	
UH	401			402			403			404		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
(GHR) (°C.h)	E	E	E	D	D	D	D	D	D	E	D	E
	9139	8944	9603	7988	8341	8344	7947	8116	8147	9095	8369	8934
(CA) (kWh/m².ano)	B	B	A	B	B	A	B	B	A	B	B	A
	19,59	18,64	10,90	20,36	22,61	12,50	19,80	23,29	11,95	18,94	19,30	10,70
(CR) (kWh/m².ano)	D	E		D	E		D	E		D	E	
	20,41	29,88		20,10	27,91		18,96	29,74		19,34	27,80	

Fonte: o autor (2018).

Para a simulação da envoltória com tijolo maciço, as UHs obtiveram um comportamento inferior, principalmente para o verão. O número de APPs com nível “E” dobrou em comparação ao bloco estrutural. Isso é decorrente de que a transmitância térmica é maior para o tijolo maciço do que para o bloco estrutural, ou seja, a transferência de calor de fora para dentro do ambiente é maior. Já para o inverno, os ambientes apresentaram uma pequena melhora, dobrando o número de APPs com nível “A”. Quando refrigerada artificialmente as UHs não variaram os níveis de eficiência energética, apenas houve uma pequena alteração no seu equivalente numérico.

4.2 Pré-requisitos da envoltória dos APPs

Os pré-requisitos da envoltória dos ambientes de permanência prolongada dizem respeito à iluminação e ventilação natural, bem como às propriedades térmicas dos componentes de vedação.

4.2.1 Transmitância e capacidade térmica

Verificou-se que as propriedades do bloco cerâmico estrutural, como transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas atendem às normas vigentes. Quando simulado com as propriedades térmicas do tijolo maciço, a transmitância térmica não atendeu à norma, obtendo no máximo nível “C” para o equivalente numérico da envoltória.

4.2.2 Iluminação e ventilação natural

Para atender aos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural, a relação entre as aberturas dos ambientes e a área útil dos mesmos, deve ser de no mínimo 12,5% para iluminação e 8% para ventilação. As áreas de aberturas para iluminação e ventilação estão no Apêndice E deste trabalho, com a indicação de todas as esquadrias dos ambientes de permanência prolongada: J1 para o dormitório de casal, J2 para o dormitório de solteiro e PJ1 para a sala de estar/jantar.

Verificou-se que nenhum ambiente atendeu ao pré-requisito. Como forma de solução, as aberturas de todos os ambientes deveriam ser maiores a fim de

proporcionar vãos que atendam ao RTQ-R tanto para iluminação quanto para ventilação. O Quadro 6 apresenta as classificações, com seus respectivos equivalentes numéricos, de todos os APPs de cada UH quando utilizado o bloco cerâmico estrutural, material original da edificação. Já o Quadro 7 apresenta as classificações quando simulada a utilização do tijolo maciço.

Quadro 6 - Classificação após avaliar os pré-requisitos dos ambientes (bloco cerâmico estrutural)

Bloco cerâmico estrutural												
UH	201/301			202/302			203/303			204/304		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
Envoltória para o verão	D	D	D	C	C	C	C	C	C	D	D	C
	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00
Envoltória para o inverno	C	A	C	C	B	C	C	B	C	C	B	C
	3,00	5,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	E		D	E		D	E		D	E	
	2,00	1,00		2,00	1,00		2,00	1,00		2,00	1,00	
UH	401			402			403			404		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
Envoltória para o verão	E	D	E	D	D	D	D	D	D	E	D	D
	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00
Envoltória para o inverno	C	B	C	C	B	C	C	B	C	C	B	C
	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	E		D	E		D	E		D	E	
	2,00	1,00		2,00	1,00		2,00	1,00		2,00	1,00	

Fonte: o autor (2018).

Quadro 7 - Classificação dos APPs após avaliar os pré-requisitos dos ambientes (tijolo maciço)

Tijolo maciço												
UH	201/301			202/302			203/303			204/304		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
Envoltória para o verão	D	D	D	C	D	C	C	D	C	D	D	C
	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	E		D	E		C	E		D	E	
	2,00	1,00		2,00	1,00		3,00	1,00		2,00	1,00	
UH	401			402			403			404		
APP	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA	CASAL	SOLTEIRO	SALA
Envoltória para o verão	E	E	E	D	D	D	D	D	D	E	D	E
	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	E		D	E		E	E		E	E	
	2,00	1,00		2,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	

Fonte: o autor (2018).

Percebe-se que após avaliar os pré-requisitos dos ambientes, os níveis de eficiência energética diminuíram, principalmente quando simulada a utilização de tijolo maciço em consequência de não atender a todos os pré-requisitos do ambiente.

4.3 Pré-requisitos da envoltória das UHs

Aqui são avaliados os pré-requisitos da envoltória e são novamente inseridas as áreas de aberturas em todas as orientações da UH, a fim de verificar se a mesma possui ventilação cruzada. As aberturas devem atender à proporção indicada na Equação 9. O não atendimento deste pré-requisito resulta em, no máximo, nível “C” para o equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnvResfr).

Equação 9 - Proporção das aberturas para ventilação cruzada

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25 \quad (9)$$

Onde:

A_1 = área efetiva de aberturas localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m²);

A_2 = área efetiva de aberturas localizadas nas fachadas das demais orientações (m²).

Quanto aos banheiros, o RTQ-R determina que 50% ou mais devem possuir ventilação natural. Todos os banheiros da edificação possuem ventilação natural, atendendo por completo a este pré-requisito. Também foi atendido em todas as UHs o pré-requisito de ventilação cruzada.

4.4. Envoltória das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais

Após avaliar os pré-requisitos da envoltória das UHs, como ventilação cruzada e banheiros com ventilação natural, avaliou-se novamente o nível de eficiência energética para o verão, inverno e se refrigerada artificialmente.

O Quadro 8 faz uma comparação entre os níveis de eficiência energética antes e depois de avaliar os pré-requisitos gerais da UH utilizando bloco cerâmico estrutural. Já o Quadro 9 faz a mesma comparação quando utilizado o tijolo maciço.

Quadro 8 - Classificação das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais da UH (bloco cerâmico estrutural)

Bloco cerâmico estrutural								
	Antes de avaliar o pré-requisito de ventilação cruzada							
UH	201/301	202/302	203/303	204/304	401	402	403	404
Envoltória para o verão	D	C	C	C	E	D	D	D
	2,00	3,00	3,00	2,79	1,21	2,00	2,00	2,00
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,42	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Depois de avaliar o pré-requisito de ventilação cruzada							
UH	201/301	202/302	203/303	204/304	401	402	403	404
Envoltória para o verão	D	C	C	C	E	D	D	D
	2,00	3,00	3,00	2,79	1,21	2,00	2,00	2,00
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,42	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: o autor (2018).

Quadro 9 - Classificação das UHs após avaliar os pré-requisitos gerais da UH (tijolo maciço)

Tijolo maciço								
	Antes de avaliar o pré-requisito de ventilação cruzada							
UH	201/301	202/302	203/303	204/304	401	402	403	404
Envoltória para o verão	D	C	C	C	E	D	D	E
	2,00	2,79	2,79	2,79	1,00	2,00	2,00	1,21
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Depois de avaliar o pré-requisito de ventilação cruzada							
UH	201/301	202/302	203/303	204/304	401	402	403	404
Envoltória para o verão	D	C	C	C	E	D	D	E
	2,00	2,79	2,79	2,79	1,00	2,00	2,00	1,21
Envoltória para o inverno	C	C	C	C	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: o autor (2018).

Em ambos os casos a comparação obteve o mesmo resultado, pois todas as UHs atenderam ao pré-requisito de ventilação cruzada e banheiros com ventilação natural. As planilhas de cálculos dos pré-requisitos da envoltória da UH estão representadas no Apêndice G deste trabalho.

Nota-se que as coberturas obtiveram um nível de eficiência energética menor em comparação com outras UHs, principalmente aquelas com as aberturas voltadas para as orientações Norte, Leste e Oeste (UHs 401 e 404), independente do método construtivo utilizado. Além do ganho excessivo de calor pela cobertura, essas UHs ficam situadas em orientações em que a eficiência energética é desfavorável para o verão.

Após as verificações dos pré-requisitos, a planilha eletrônica gerou o nível de eficiência energética da envoltória para cada UH. As mesmas estão apresentadas no Quadro 10, em forma de comparação entre a utilização do bloco cerâmico estrutural e do tijolo maciço.

Quadro 10 - Classificação geral da envoltória após avaliar os pré-requisitos gerais

	Bloco cerâmico estrutural	Tijolo maciço
	Nota final da envoltória da UH	Nota final da envoltória da UH
201/301	C	C
	2,80	2,56
202/302	C	C
	3,12	2,91
203/303	C	C
	3,12	2,91
204/304	C	C
	3,03	2,91
401	D	D
	2,33	2,12
402	C	C
	2,68	2,56
403	C	C
	2,68	2,56
404	C	D
	2,68	2,21

Fonte: o autor (2018).

Nota-se que, para a classificação geral da envoltória das UHs, não houve grandes diferenças entre a utilização do bloco cerâmico estrutural e o tijolo maciço. Há pequenas diferenças no equivalente numérico, porém dentro do mesmo nível de eficiência energética. A maioria das UHs obteve nível “C” em que a faixa do equivalente numérico varia de 2,50 a 3,49. O apartamento 401 obteve nível “D”, que varia de 1,50 a 2,49, em ambas as metodologias construtivas. A maior diferença entre a utilização dos métodos se deu no apartamento 404, onde o nível de

eficiência energética passou de “C” no bloco cerâmico estrutural para “D” no tijolo maciço.

4.5 Sistema de aquecimento de água

Os pré-requisitos do sistema de abastecimento de água foram atendidos em parte, por isso, o maior nível de eficiência energética que as UHs podem atingir neste quesito é “C”. O Quadro 11 apresenta todos os pré-requisitos e atribuições válidos para todas as UHs.

Quadro 11 - Análise dos pré-requisitos do sistema de aquecimento de água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W ?	
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	0,413
	Espessura do isolamento (cm)	0
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,14
	Atende?	Não
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	C

Fonte: o autor (2018).

Percebe-se que as tubulações de água quente são apropriadas para a função de condução térmica e que atendem às normas técnicas dos fabricantes, atendendo ao pré-requisito. Porém não foi verificada a utilização de isolamento térmico nas tubulações, não atendendo a este pré-requisito, o nível máximo adquirido no sistema de aquecimento de água, independentemente do tipo de sistema, é “C”.

Quanto ao equivalente numérico atribuído à nota final de cada UH, este deve ser obtido através da análise de cada sistema de aquecimento de água individual ou misto, multiplicando-se a demanda de cada sistema pelo seu equivalente numérico. Neste trabalho foram simuladas as utilizações individuais de sistemas a gás e elétrico, cada um deles cobrindo a demanda completa de água quente em todas as

UHs. Posteriormente foi avaliada a possibilidade de implantação de um sistema solar de aquecimento de água.

O Quadro 12 apresenta os resultados finais da edificação multifamiliar analisada quando utilizado o sistema de aquecimento a gás. Ao mesmo tempo é feita a análise com a utilização do bloco cerâmico estrutural e do tijolo maciço, a fim de verificar qual método construtivo adquire maior eficiência energética.

Quadro 12 - Nível de eficiência energética com o sistema de aquecimento a gás

Bloco cerâmico estrutural										
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar	
201	2,80	C	3,00	C	0,56	3,43	C	66,65	3,48	C
202	3,12	C	3,00	C	0,56	3,64	B	67,13		
203	3,12	C	3,00	C	0,56	3,64	B	67,13		
204	3,03	C	3,00	C	0,56	3,58	B	66,65		
301	2,80	C	3,00	C	0,56	3,43	C	66,65		
302	3,12	C	3,00	C	0,56	3,64	B	67,13		
303	3,12	C	3,00	C	0,56	3,64	B	67,13		
304	3,03	C	3,00	C	0,56	3,58	B	66,65		
401	2,33	D	3,00	C	0,56	3,13	C	66,65		
402	2,68	C	3,00	C	0,56	3,35	C	67,13		
403	2,68	C	3,00	C	0,56	3,35	C	67,13		
404	2,68	C	3,00	C	0,56	3,35	C	66,65		
Tijolo maciço										
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar	
201	2,56	C	3,00	C	0,56	3,27	C	66,65	3,35	C
202	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	67,13		
203	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	67,13		
204	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	66,65		
301	2,56	C	3,00	C	0,56	3,27	C	66,65		
302	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	67,13		
303	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	67,13		
304	2,91	C	3,00	C	0,56	3,50	B	66,65		
401	2,12	D	3,00	C	0,56	2,99	C	66,65		
402	2,56	C	3,00	C	0,56	3,27	C	67,13		
403	2,56	C	3,00	C	0,56	3,27	C	67,13		
404	2,21	D	3,00	C	0,56	3,05	C	66,65		

Fonte: o autor (2018).

Percebe-se que não há muita diferença entre a utilização dos dois métodos construtivos quando utilizado o sistema de aquecimento de água a gás, apenas uma pequena variação no equivalente numérico, porém ambos estão dentro da faixa do nível “C”. Entretanto, com o uso do bloco cerâmico estrutural o equivalente numérico chegou mais próximo de alcançar o nível “B”, com valor igual a 3,48, enquanto o tijolo maciço alcançou um equivalente numérico igual a 3,35.

Quando utilizado apenas o sistema de aquecimento elétrico, o maior nível alcançado no sistema é nível “D” dependendo da potência do aparelho instalado

para aquecimento de água, justificando o objetivo do RTQ-R em diminuir a utilização de equipamentos consumidores de energia elétrica e priorizando a utilização de sistemas mais eficientes em relação ao gasto de energia e aos impactos ambientais (Portaria 018, INMETRO, 2012). O Quadro 13 apresenta os resultados quando utilizado o sistema de aquecimento elétrico, também fazendo a comparação entre o uso do bloco cerâmico estrutural e do tijolo maciço.

Quadro 13 - Nível de eficiência energética com o sistema de aquecimento elétrico

Bloco cerâmico estrutural										
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar	
201	2,80	C	1,00	E	0,56	2,73	C	66,65	2,84	C
202	3,12	C	1,00	E	0,56	2,94	C	67,13		
203	3,12	C	1,00	E	0,56	2,94	C	67,13		
204	3,03	C	1,00	E	0,56	2,88	C	66,65		
301	2,80	C	1,00	E	0,56	2,73	C	66,65		
302	3,12	C	1,00	E	0,56	2,94	C	67,13		
303	3,12	C	1,00	E	0,56	2,94	C	67,13		
304	3,03	C	1,00	E	0,56	2,88	C	66,65		
401	2,33	D	1,00	E	0,56	3,13	C	66,65		
402	2,68	C	1,00	E	0,56	2,65	C	67,13		
403	2,68	C	1,00	E	0,56	2,65	C	67,13		
404	2,68	C	1,00	E	0,56	2,65	C	66,65		
Tijolo maciço										
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar	
201	2,56	C	1,00	E	0,56	2,57	C	66,65	2,65	C
202	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	67,13		
203	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	67,13		
204	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	66,65		
301	2,56	C	1,00	E	0,56	2,57	C	66,65		
302	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	67,13		
303	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	67,13		
304	2,91	C	1,00	E	0,56	2,80	C	66,65		
401	2,12	D	1,00	E	0,56	2,29	D	66,65		
402	2,56	C	1,00	E	0,56	2,57	C	67,13		
403	2,56	C	1,00	E	0,56	2,57	C	67,13		
404	2,21	D	1,00	E	0,56	2,35	C	66,65		

Fonte: o autor (2018).

Com a utilização do sistema elétrico de aquecimento da água dos chuveiros com potência de 5400 W, segundo a Norma Técnica GED-13 (CPFL, 2018), o equivalente numérico final da edificação baixou, chegando bem próximo do nível “D”, mas não a ponto de mudar a faixa do nível de eficiência energética. Conclui-se que, para alterar o nível de eficiência da edificação, outras medidas deverão ser tomadas a fim de encontrar a materialidade perfeita para que a edificação adquira nível “A”.

4.6 Bonificações

Verificou-se que nesta etapa é de fundamental importância a análise correta das informações, bem como uma análise posterior à entrega da edificação por parte do empreendedor. Considerou-se que cada UH conta com 100% das fontes de iluminação artificial com lâmpadas de LED com eficiência superior a 75 lm/W, porém algumas lâmpadas fluorescentes também podem chegar a essa eficiência. Também se considerou que cada UH apresenta refrigerador com ENCE nível “A”. As bonificações somaram 0,56 pontos em cada UH. As planilhas de avaliação das bonificações por UH pode ser conferida no Apêndice B deste trabalho.

4.7 Sugestões de adaptação ao projeto original e obtenção no nível “A”

Já foi verificado que a utilização do bloco cerâmico estrutural é mais eficiente. Por isso as sugestões de alterações no projeto original foram feitas a partir do método construtivo do bloco cerâmico estrutural, uma vez que o mesmo obteve resultados mais próximos do nível “A”, sendo mais provável alcançá-lo.

Identificou-se que a origem de níveis mais baixos de eficiência energética deste projeto vinha em grande parte do não atendimento a alguns pré-requisitos, como por exemplo, os pré-requisitos da envoltória de cada ambiente: iluminação e ventilação natural. Concluiu-se que para que os ambientes atendam a estes pré-requisitos, as aberturas existentes em cada APP devem ser maiores, a fim de promover uma maior abertura para iluminação e ventilação natural, atendendo às proporções de 12,5% e 8% da área útil no ambiente, respectivamente.

Como primeira medida de alteração do projeto original, sugeriu-se aumentar as dimensões das esquadrias. O Quadro 14 apresenta as esquadrias sugeridas para alteração do projeto original a fim de satisfazer os pré-requisitos de iluminação e ventilação natural.

Quadro 14 - Esquadrias sugeridas

APP	ESQUADRIA EXISTENTE	ESQUADRIA SUGERIDA
Dormitório de Casal	Tipo camarão 1,60 x 1,20	Tipo camarão 1,90 x 1,20
Dormitório de Solteiro	Tipo camarão 1,40 x 1,20	Tipo camarão 1,60 x 1,20
Sala de estar/jantar	De correr c/persiana 1,80 x 2,10	De correr c/persiana 2,30 x 2,10

Fonte: o autor (2018).

Alterando-se as esquadrias, as aberturas para iluminação e ventilação natural atendem aos pré-requisitos citados, tendo seus vãos aumentados. Conforme demonstrado no Quadro 15, as áreas de abertura para iluminação e ventilação maiores aumentam a relação entre elas e a área útil de cada ambiente.

Quadro 15 – Pré-requisitos de iluminação e ventilação com esquadrias sugeridas

	Dormitório de casal	Dormitório de solteiro	Sala de estar/jantar
Área de abertura para iluminação (m²)	1,55	1,25	3,895
Ai/Auamb (%)	13,55	15,32	13,38
Atende 12,5%?	Sim	Sim	Sim
Área de abertura para ventilação (m²)	0,99	0,66	2,375
Av/Auamb (%)	8,65	8,09	8,16
Atende 8,0%?	Sim	Sim	Sim

Fonte: o autor (2018).

O Quadro 16 apresenta as pontuações de cada UH, bem como a classificação geral da edificação multifamiliar com a alteração das esquadrias e atendimento aos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural. Inicialmente a análise se deu com a utilização do sistema de aquecimento de água a gás, o qual adquiriu melhor eficiência, quando comparado com o sistema elétrico de aquecimento.

Quadro 16 – Classificação geral com alteração nas esquadrias

Alteração de esquadrias + sistema de aquecimento a gás									
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar
201	3,68	B	3,00	C	0,56	4,00	B	66,65	4,06 B
202	4,15	B	3,00	C	0,56	4,31	B	67,13	
203	4,00	B	3,00	C	0,56	4,21	B	67,13	
204	4,00	B	3,00	C	0,56	4,21	B	66,65	
301	3,68	B	3,00	C	0,56	4,00	B	66,65	
302	4,15	B	3,00	C	0,56	4,31	B	67,13	
303	4,00	B	3,00	C	0,56	4,21	B	67,13	
304	4,00	B	3,00	C	0,56	4,21	B	66,65	
401	3,21	C	3,00	C	0,56	3,70	B	66,65	
402	3,56	B	3,00	C	0,56	3,92	B	67,13	
403	3,56	B	3,00	C	0,56	3,92	B	67,13	
404	3,21	C	3,00	C	0,56	3,70	B	66,65	

Fonte: o autor (2018).

A segunda alteração sugerida no projeto original se refere ao isolamento térmico das paredes externas, através da introdução de uma lâmina de material isolante térmico para que a condução de calor entre o ambiente externo e interno

seja menor, aumentando o conforto térmico no interior dos APPs. Foi indicada a utilização de uma camada de lã de vidro de espessura igual a 3,0 cm adicionada ao lado externo de cada parede externa. As novas propriedades térmicas das paredes com a adição da camada de lã de vidro podem ser verificadas no Apêndice H ao final deste trabalho. A Tabela 17 apresenta o resultado encontrado para cada UH.

Tabela 17 - Propriedades térmicas das paredes com isolamento térmico

APARTAMENTOS 201/301/401								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.
0,85	204,92	204,61	0,85	204,93	204,93	0,85	208,31	205,52
APARTAMENTOS 202/302/402								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.
0,85	204,92	204,61	0,85	204,93	204,93	0,85	208,31	205,52
APARTAMENTOS 203/303/403								
DOMRITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.
0,85	204,92	204,61	0,85	204,93	204,93	0,85	208,31	205,52
APARTAMENTOS 204/304/404								
DORMITÓRIO DE CASAL			DORMITÓRIO DE SOLTEIRO			SALA ESTAR/JANTAR		
U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.	U	CTpar ext.	CT par ex/int.
0,85	204,92	204,61	0,85	204,93	204,93	0,85	208,31	205,52

Fonte: o autor (2018).

Com a inserção de uma camada de 3,0 cm de lã de vidro às paredes externas dos ambientes, a transmitância térmica diminuiu consideravelmente, chegando a um valor igual a 0,85 W/(m².K), devido à sua condutividade térmica muito baixa igual a 0,045 W/(m.K), segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para o RTQ-R são consideradas isoladas as paredes externas que possuem isolamento térmico e transmitância térmica abaixo de 1,0 W/(m².K). A capacidade térmica pouco variou com a adição da camada de lã de vidro, por ser uma lâmina pouco espessa, com densidade de massa aparente baixa igual a 100 kg/m³ e calor específico igual a 0,70 kJ/(kg.K), segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

O valor da capacidade térmica encontrado aumentou muito pouco, porém satisfaz a ideia de que a parede externa terá mais capacidade de absorver o calor do ambiente externo, evitando ainda mais a troca com o ambiente interno. Ou seja, a parede terá que sofrer mais calor do lado externo para que passe para o interior dos ambientes.

A fim de verificar o novo desempenho energético na edificação multifamiliar, aplicou-se às planilhas de cada UH as novas propriedades térmicas, juntamente com a alteração das esquadrias e novamente utilizando o bloco cerâmico estrutural. O Quadro 17 apresenta os novos níveis de eficiência energética de cada UH, bem como a classificação geral, visando alavancar a edificação para o nível “A”.

Quadro 17 – Classificação geral com alteração nas esquadrias e isolamento térmico das paredes

Alteração de esquadrias + adição de 3,0 cm de lã de vidro + sistema de aquecimento a gás									
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m²)	ENCE Multifamiliar
201	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	66,65	4,19 B
202	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	67,13	
203	4,47	B	3,00	C	0,56	4,52	A	67,13	
204	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	66,65	
301	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	66,65	
302	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	67,13	
303	4,47	B	3,00	C	0,56	4,52	A	67,13	
304	4,12	B	3,00	C	0,56	4,29	B	66,65	
401	3,21	C	3,00	C	0,56	3,70	B	66,65	
402	3,56	B	3,00	C	0,56	3,92	B	67,13	
403	3,56	B	3,00	C	0,56	3,92	B	67,13	
404	3,56	B	3,00	C	0,56	3,92	B	66,65	

Fonte: o autor (2018).

Com as alterações previstas até aqui para a envoltória, a maioria das UHs alcançou nível “B” e os apartamentos 203 e 303 já se classificaram com nível “A”. A classificação geral da edificação multifamiliar ficou em “B” com um equivalente numérico igual a 4,19, muito próximo de alcançar o nível “A”.

A terceira alteração diz respeito ao sistema de aquecimento de água. Já foi verificado que o nível de eficiência energética do projeto original seria no máximo nível “C” em função do não cumprimento do pré-requisito de isolamento térmico das tubulações de água quente. Analisou-se como ficaria o nível de eficiência do sistema de aquecimento de água com a inserção de 1,0 cm de isolamento térmico nas tubulações, sem alterar sua materialidade, ou seja, permanecendo com CPVC. Confirmou-se que com a adição do isolamento térmico nas tubulações, as UHs atendem a todos os pré-requisitos do sistema de aquecimento de água, podendo atingir o nível “A”, dependendo do tipo de sistema e demanda atendida por ele.

Como uma quarta alteração no projeto original, optou-se por simular a utilização de um sistema de aquecimento solar de água que atenderia somente os

chuveiros elétricos, sendo o restante das instalações de água fria. Para isso, supõe-se que os pré-requisitos do sistema sejam todos cumpridos, como por exemplo: os coletores solares instalados com orientação Norte geográfico e com inclinação de 30°; coletores e reservatórios com ENCE “A” ou “B” ou Selo Procel; dimensionamento correto com os passos da Portaria 018 (INMETRO, 2012).

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar proposto pelo RTQ-R leva em consideração a temperatura ambiente e radiação solar incidente, além da temperatura de água fria e dados técnicos dos coletores solares. Com a utilização de planilha eletrônica disponível site do [PBE Edifica](#) foi possível dimensionar um sistema para a edificação analisada, a qual está integralmente demonstrada no Apêndice I deste trabalho. Foram dimensionados 21 coletores de 2,79 m² de área superficial cada um, ocupando um espaço de 58,59 m² no telhado da edificação.

Segundo a Portaria 018 (INMETRO, 2012) para obtenção de níveis “A” ou “B” no sistema de aquecimento solar, a relação entre o volume do reservatório e a área de coletores deve ser entre 50 e 150 l/m². Com um reservatório de 4.000 litros e área de coletores igual a 58,59 m², essa relação fica em 68,27 l/m². Já o equivalente à fração solar anual, também obtida na planilha de dimensionamento foi igual a 497,15%, onde acima de 70% o sistema já adquire nível “A”. Com essas duas alterações no sistema de aquecimento de água, a edificação alcança nível máximo “A”. O Quadro 18 apresenta a pontuação de cada UH bem como a classificação geral da edificação após aplicar todas as alterações sugeridas no projeto original.

Quadro 18 – Classificação geral com todas as alterações sugeridas

Alteração de esquadrias + adição de 3,0 cm de lã de vidro + sistema de aquecimento a gás									
UH	Envoltória		Sistema de aquecimento de água		Bonificações	Pontuação	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs	Área útil (m ²)	ENCE Multifamiliar
201	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	66,65	4,89
202	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	67,13	
203	4,47	B	5,00	A	0,56	5,22	A	67,13	
204	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	66,65	
301	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	66,65	
302	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	67,13	
303	4,47	B	5,00	A	0,56	5,22	A	67,13	
304	4,12	B	5,00	A	0,56	4,99	A	66,65	
401	3,21	C	5,00	A	0,56	4,40	B	66,65	
402	3,56	B	5,00	A	0,56	4,62	A	67,13	
403	3,56	B	5,00	A	0,56	4,62	A	67,13	
404	3,56	B	5,00	A	0,56	4,62	A	66,65	
									A

Fonte: o autor (2018).

Com as alterações sugeridas para a envoltória e para o sistema de aquecimento de água, não é necessário fazer alterações para que a edificação some mais pontos por bonificações. Assim, a edificação multifamiliar alcança nível máximo, ou seja, nível “A” com equivalente numérico igual a 4,89 e todas as suas UHs, com exceção da UH 401, também atingem nível “A”.

Para melhora do desempenho térmico das UHs do último pavimento, recomenda-se a utilização de uma camada de isolamento térmico na cobertura, a fim de diminuir a transposição de calor externo para dentro dos ambientes. Com isso, o equivalente numérico das UHs, em especial a UH 401, é aumentado, podendo adquirir nível “B” na envoltória e nível “A” na classificação final, também alavancando ainda mais o equivalente numérico da edificação multifamiliar.

4.8 Comparação entre projeto original e adaptações

As sugestões de alteração no projeto original da edificação possibilitaram o acréscimo do equivalente numérico e fizeram com que a eficiência energética da edificação alcançasse nível máximo “A”. O Quadro 19 faz uma comparação do ganho de eficiência energética da edificação original e após aplicar todas as alterações sugeridas.

Quadro 19 – Comparação do ganho de eficiência energética

PROJETO ORIGINAL COM SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS				PROJETO ORIGINAL COM SISTEMA DE AQUECIMENTO ELÉTRICO				COM ALTERAÇÕES SUGERIDAS			
UH	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs		ENCE Multifamiliar	UH	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs		ENCE Multifamiliar	UH	CLASSIFICAÇÃO FINAL das UHs		ENCE Multifamiliar
201	3,43	C	3,48	201	2,73	C	2,84	201	4,99	A	4,89
202	3,64	B		202	2,94	C		202	4,99	A	
203	3,64	B		203	2,94	C		203	5,22	A	
204	3,58	B		204	2,88	C		204	4,99	A	
301	3,43	C		301	2,73	C		301	4,99	A	
302	3,64	B		302	2,94	C		302	4,99	A	
303	3,64	B		303	2,94	C		303	5,22	A	
304	3,58	B		304	2,88	C		304	4,99	A	
401	3,13	B		401	3,13	C		401	4,40	B	
402	3,35	C		402	2,65	C		402	4,62	A	
403	3,35	C	C	403	2,65	C	C	403	4,62	A	A
404	3,35	C		404	2,65	C		404	4,62	A	

Fonte: o autor (2018).

Verificou-se que o projeto original com sistema de aquecimento elétrico obteve a pior eficiência energética, com equivalente numérico igual a 2,84 e nível “C”. Já com o sistema de aquecimento a gás atingiu 3,48 no equivalente numérico, muito próximo de alcançar nível “B”. Com as alterações sugeridas para o projeto, como: maiores dimensões das esquadrias dos APPs, adição de uma camada de lã de vidro nas paredes externas, adição de isolamento térmico nas tubulações de água quente e dimensionamento de um sistema de aquecimento solar, a edificação alcançou nível “A” com equivalente numérico igual a 4,89, representando um ganho de 40,51% em eficiência energética quando comparado com o sistema de aquecimento a gás, e de 72,18% quando comparado com o sistema elétrico.

Com o aumento da eficiência energética da edificação, reduz-se o consumo de energia elétrica dos apartamentos para alcançar o conforto térmico interno. Com isso, diminuem-se também os gastos com eletricidade e com equipamentos consumidores de energia, satisfazendo o objetivo do trabalho e possibilitando a formação de novos trabalhos acadêmicos voltados para a economia do setor construtivo.

5 CONCLUSÃO

Caso um ambiente não esteja confortável termicamente, os ocupantes tomarão medidas para torná-lo confortável novamente através da utilização de equipamentos consumidores de energia elétrica para condicionamento de ar. O RTQ-R estimula a menor utilização desses equipamentos, classificando as edificações em níveis de eficiência energética.

Este trabalho analisou através do método prescritivo do RTQ-R, a envoltória, o sistema de aquecimento de água e as possíveis bonificações, e classificou, segundo os níveis de eficiência energética, uma edificação multifamiliar. Inicialmente a edificação foi entregue aos moradores com nível “C”, o que foi melhorado para nível “A” com pequenos ajustes no projeto original da edificação. Além de aumentar as dimensões das esquadrias para possibilitar mais entrada de iluminação e ventilação natural, a adição de uma camada de lã de vidro nas paredes externas fez com que o nível subisse para “B”. O isolamento térmico das tubulações de água quente possibilitou que o sistema de aquecimento de água pudesse alcançar nível “A”, o que se confirmou juntamente com um dimensionamento adequado do sistema de aquecimento solar.

No Brasil, o método de etiquetagem de edificações ainda é pouco difundido, seja por questões financeiras, ausência de conhecimento por parte de construtoras e clientes, ou por questões de cultura regionais. Este trabalho pode ser utilizado como base para trabalhos que envolvam os motivos da não etiquetagem dos edifícios residenciais e os custos englobados nos processos, bem como as vantagens da etiquetagem.

Reitera-se a importância de edificações mais eficientes na busca pelo conforto térmico com a utilização de elementos naturais que facilitem a eficiência energética e diminuam o consumo excessivo de energia elétrica. Trabalhos que visam substituir materiais comumente utilizados na construção civil por elementos naturais já vêm sendo desenvolvidos a fim de reduzir a industrialização de materiais, surgindo como grande potencial de experiências laboratoriais na busca pela melhor eficiência energética das construções.

Conclui-se que é de extrema importância a análise dos dados citados neste trabalho na fase de projeto da edificação, precavendo futuras implementações na obra quando concluída. Observa-se que serão necessárias correções de grandes proporções na edificação para melhoria do seu desempenho térmico, o que poderá ser evitado se a análise for feita com antecedência, antes do início da obra, prevenindo eventuais despesas financeiras e desperdícios de materiais e tornando a execução mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUATHERM. **Catálogo técnico predial**, Mai. 2011. Disponível em <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-aquatherm.pdf>>. Acesso em 25 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 15220 - 1 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 15220 - 1 - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 15220 - 2 - Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARBOSA, Normando Perazzo. Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais. Jan. 2005. Disponível em > https://www.researchgate.net/publication/237677765_CONSIDERACOES_SOBRE_MATERIAIS_DE_CONSTRUCAO_CONVENCIONAIS_E_NAO_CONVENCIONAIS<. Acesso em 14 Mai 2018.

BASSO, Thalyta Mayara; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; SILVA, Danieli Sanderson. **Eficiência energética na construção civil no Brasil**. Acta Iguazu, Cascavel, v.4, n.1, p. 48-56, 2015. Disponível em < <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/viewFile/12476/8681>> Acesso em 14 Nov 2018.

BAVARESCO, Mateus V; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Análise da precisão de um metamodelo para a avaliação da envoltória de acordo com o regulamento brasileiro de eficiência energética em edificações**. In: XIV ENCAC – ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO

AMBIENTE CONSTRUÍDO, Balneário Camboriú, p. 1308-1317, set. 2017. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico5artigo11.pdf>>. Acesso em: 03: Mai 2018.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Mudanças climáticas e Qualidade Ambiental – Departamento de Mudanças Climáticas. **Eficiência Energética: Guia Para Etiquetagem de Edifícios**. Brasília, v. 2, 1. ed., 2015. Disponível em <<http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/noticia/Como%20etiquetar-%20vol1.pdf>>. Acesso em 17 Mar 2018.

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm>. Acesso em: 28 fev 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2017. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em 05 Mai 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. 2017. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em 05 Mai 2017.

CARVALHO, Homero J.M.de; ARAUJO, Tibério G.H; SILVA, Francisco A.G.da; **Tratamento de dados climáticos da cidade de João Pessoa – PB, para uso em projetos de arquitetura**. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz do Iguaçu, p. 327-336, Mai. 2002. Disponível em <http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_0327_336.pdf>. Acesso em: 05 Mai 2018.

CASTRO, Adriana Petito de A.S.; LABAKI, Lucila Chebel. **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. VI Encontro e III Encontro Latino-Americano sobre conforto no ambiente construído, São Paulo, Nov. 2001. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2001/a0805.pdf>>. Acesso em 22 nov. 2018.

CATAI, Rodrigo Eduardo; PENTEADO, André Padilha; DALBERTO, Paula Ferranetto. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, nov. 2006. Disponível em <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17747/material/Engenharia%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o,%20Engenharia%20Civil,%20Mecatr%C3%B4nica.pdf>> Acesso em 14 Nov 2018.

CORREA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. Monografia (Especialização em Construção Civil) - UFMG Escola de Engenharia. Jan. 2009. Disponível em <<http://www.especializacao civil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>>. Acesso em: 03 Mai 2018.

CPFL. **Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição**. Jun. 2018. Disponível em < <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-13.pdf>>. Acesso em 26 Mai 2018.

DUTRA, Miguel R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: Análise do comportamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2010. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Porto, mar. 2010. Disponível em <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395140450819/Tese>>. Acesso em: 26 Mai 2018.

ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações** Rio de Janeiro, 2013.

ELKINGTON, John; HAILES, Julia. Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. Parte 1. **Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Civil**. 2004 Disponível em <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/817/5/Parte%20I.pdf>>. Acesso em 16 Mai 2018.

FERNANDES, José Luiz; MUSSI, José Artur d'Oliveira; MIRANDA, Rosana Dischinger; SILVA, Carlos Alexandre de Souza; CHARLES, Mariana Ribeiro. Um estudo de caso de sustentabilidade aplicada à construção civil conforme etiquetagem do Programa PBE Edifica. **Revista Augustus**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 40, p. 28-45, jul./dez. 2015. Disponível em <<http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/revistaaugustus/article/view/873>>. Acesso em: 16 Mar 2018.

GIVONI, B. **Confort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GOMES, Anderson Ferreira. **Eficiência Energética em edificações públicas do Poder Executivo Federal: Oportunidade e desafios no contexto do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE - Edifica)**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2017. Disponível em <http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/25204/1/2017_AndersonFerreiraGomes.pdf>. Acesso em: 03 Mar 2018.

GPEDO ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES, 2018, comunicação pessoal.

GUARDIAN SUNGUARD. **Catálogo de propriedades térmicas do vidro**. Disponível em <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf>. Acesso em 20 out. 2018.

INMETRO, Portaria 018/2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 03 Mar 2018.

INMETRO, Portaria 050/2013. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC)**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001961.pdf>>. Acesso em: 03 Mar 2018.

INMETRO, Portaria 372/2010. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 03 Mar 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Censo Demográfico 2010. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/lajeado/panorama>>. Acesso em 10 Jun 2018.

LAJEADO (Município). **Visão global da economia de Lajeado**. 2018. Disponível em <http://www.lajeado.rs.gov.br/?titulo=Lajeado&template=conteudo&categoria=931&codigoCategoria=931&idConteudo=2988&tipoConteudo=INCLUDE_MOSTRA_CONTEUDO>. Acesso em 05 Mai 2018.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, Andrea; FOSSATI, Michele; BATISTA, Juliana O. Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC**. Florianópolis, Jun. 2007. Disponível em < <http://www.labee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/sustentabilidade> >. Acesso em: 03 Mai 2018.

LANGHANZ, Klinsmann. **Nível “A” de eficiência energética segundo critérios do RTQ-R: Análise e proposição de alterações em uma edificação residencial multifamiliar em Porto Alegre**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dez. 2015. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/139093>>. Acesso em: 03 Mai 2018.

MAGDALENO, Carolina R.M.; NÓBREGA, Marcelo de Jesus. Metodologias para qualificação de obras civis sustentáveis. **Revista Augustus**. Rio de Janeiro, v. 20, n. 40, p. 70-83, jul-dez. 2015. Disponível em <<http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/revistaaugustus/article/view/19811896.2015v20n40p70>>. Acesso em: 05 Mai 2018.

MANOHAR, Krishpersad; RAMLAKHAN, Dale; KOCHHAR, Gurmohan; HALDAR, Subhas, Biodegradable fibrous thermal insulation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 28, n. 1, Rio de Janeiro. Jan-Mar. 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782006000100005>. Acesso em: 22 Mai 2018.

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da UNESP. Bauru, 2015. Disponível em <<https://alsafi.ead.unesp.br/handle/11449/132645>>. Acesso em: 17 Mar 2018.

MOURA, Mariangela de; MOTTA, Ana Lucia Torres Seroa da. **O fator energia na construção civil**. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. Rio de Janeiro, jun 2013. Disponível em <<http://www.inovarse.org/filebrowser/download/15525>>. Acesso em: 11 Mai 2018.

PINTO, Jorge; CRUZ, Daniel; PAIVA, Anabela; PEREIRA, Sandra; TAVARES, Pedro; FERNANDES, Lisete; VARUM, Humberto. Characterization of corn cob as a possible raw building material. **Construction and Building Materials**. Journal homepage. March 2012. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/conbuildmat>. Acesso em: 14 Mai 2018.

PINTO, Jorge; PAIVA, Anabela; VARUM, Humberto; COSTA, Ana; CRUZ, Daniel; PEREIRA, Sandra; FERNANDES, Lisete; TAVARES, Pedro; AGARWAL, Jitendra. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. **Energy and Buildings**. Journal homepage. April 2011. Disponível em <www.elsevier.com/locate/enbuild>. Acesso em: 14 Mai 2018.

POUEY, Juliana Al-Alam; BRANDALISE, Mariane Pinto; SILVA, Antonio C.S.B. **Determinação da eficiência energética da envoltória de projeto residencial unifamiliar comparando os resultados a partir da aplicação dos métodos prescritivos e de simulação do RTQ-R**. In: XIV ENTAC – ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - Out. 2012, Juiz de Fora. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1356.pdf>>. Acesso em: 03 Mar 2018.

PRUTEANU, Marian. **Investigations regarding the thermal conductivity of straw**. Buletinul Institutului Din Iasi – Universitatea Tehnica Gheorghe Asachi din Iasi. 2010. Disponível em <<http://www.bipcons.ce.tuiasi.ro/Archive/185.pdf>>. Acesso em: 26 Mai 2018.

SILVEIRA, Ricardo; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Avaliação da absorvência à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC**. XIV ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, Out. 2012.

SOARES, Maicon M.; SILVA, Antonio Cesar B.da; CUNHA, Eduardo G.da. **A compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575, sob análise do RTQ-R: Zona Bioclimática 2**. In: XIV ENCAC – ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Balneário Camboriú, p. 1084-1093, Set. 2017. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo40.pdf>>. Acesso em: 16 Mai 2018.

SPADOTTO, Aryane; NORA, Dalini Dalla; TURELLA, Elisa C.Lopes; WERGENES, Tiago N.de; BARBISAN, Ailson Oldair. Impactos ambientais causados pela construção civil. **Unoesc & Ciência - ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 173-180, jul-dez. 2011. Disponível em

<https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/745/pdf_232>. Acesso em: 03 Mai 2018.

SPINELLI, Rodrigo; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O. Revisão: Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, 2018.

SPINELLI, Rodrigo; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, F.Patiño; AHLERT, Edson; SPINELLI, Fabiana; QUADROS, Eric Augusto. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 13, v. 21, p. 153-171, jul/dez. 2017, ISSN 2237-8642. Disponível em <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

TANGJUANK, Singhadej. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v. 6, p. 4528-4532, Set, 2011. ISSN 1992-1950. Disponível em ><http://www.academicjournals.org/IJPS><. Acesso em: 22 Mai 2018.

TAVARES, Sergio F.; LAMBERTS, Roberto. **Estudos comparativos sobre consumo energético no ciclo de vida de edificações residenciais do Brasil, Austrália e Suécia**. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, jul. 2004, ISBN 85-89478-08-4. Disponível em <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0369d.pdf>. Acesso em: 05 Mai 2018.

VIEIRA, Felipe A.; SALES, Joyce G.; SILVA, Delma C.da; VILELLA, Jéssica V.A.; OLIVEIRA, Thamires G.de; XAVIER, Miriam B.; JUNIOR, Rodolfo R. Energia e crise energética. **Saúde em foco**, Amparo, ed. n. 7, Ano 2015. Disponível em <http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/saude_foco/saude.html>. Acesso em: 27 fev. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Cálculos da transmitância e capacidade térmica de cada bloco cerâmico estrutural

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL 14x29x19						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0049	
Seção 2	0,0144	0,19			0,0027	
Seção 3	0,0160	0,19			0,0030	
Seção 4	0,0250	0,19			0,0048	
Seção 5	0,0140	0,19			0,0027	
Seção 6	0,0256	0,19			0,0049	
Seção 7	0,0100	0,19			0,0019	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0049	
Composição	Reboco + Argamassa + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1565	360,00
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,01440	0,19			0,0027	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1903	286,08
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 3	0,01600	0,19			0,0030	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,6959	160,96
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,055		
Rar				0,085		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 4	0,02500	0,19			0,0048	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,5337	144,77
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,033		
Rar				0,107		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 5	0,01400	0,19			0,0027	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,2892	191,87
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,076		
Rar				0,064		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 6	0,02560	0,19			0,0049	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,5603	140,35
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,041		
Rar				0,099		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 7	0,01000	0,19			0,0019	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,3114	234,56
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,105		
Rar				0,035		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram Est. 14x29x19	0,31	0,13	0,04	0,48	2,08	183,53

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL "U"						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1	0,0100	0,2900			0,0029	
Seção 2	0,2900	0,1900			0,0551	
Seção 3	0,29000	0,025			0,0073	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Composição	Reboco + Argamassa + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1391	286,08
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,29000	0,19			0,0551	
Composição	Reboco + Bloco + Concreto + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT

Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1418	286,08
Concreto	2400	1,75	1	0,09		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,05		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 3	0,29000	0,025			0,0073	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1903	304,00
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,14		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram "U"	0,15	0,13	0,04	0,32	3,17	356,43

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL "CANALETA L"						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1	0,0100	0,2900			0,0029	
Seção 2	0,2900	0,1900			0,0551	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1903	286,08
Bloco	1600	0,9	0,92	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,29000	0,19			0,0551	
Composição	Reboco + Bloco + Concreto + Bloco + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,1418	369,60
Concreto	2400	1,75	1	0,09		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,05		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram "CANALETA L"	0,16	0,13	0,04	0,3	3,07	334,70

APÊNDICE B – Planilha de análise de bonificações

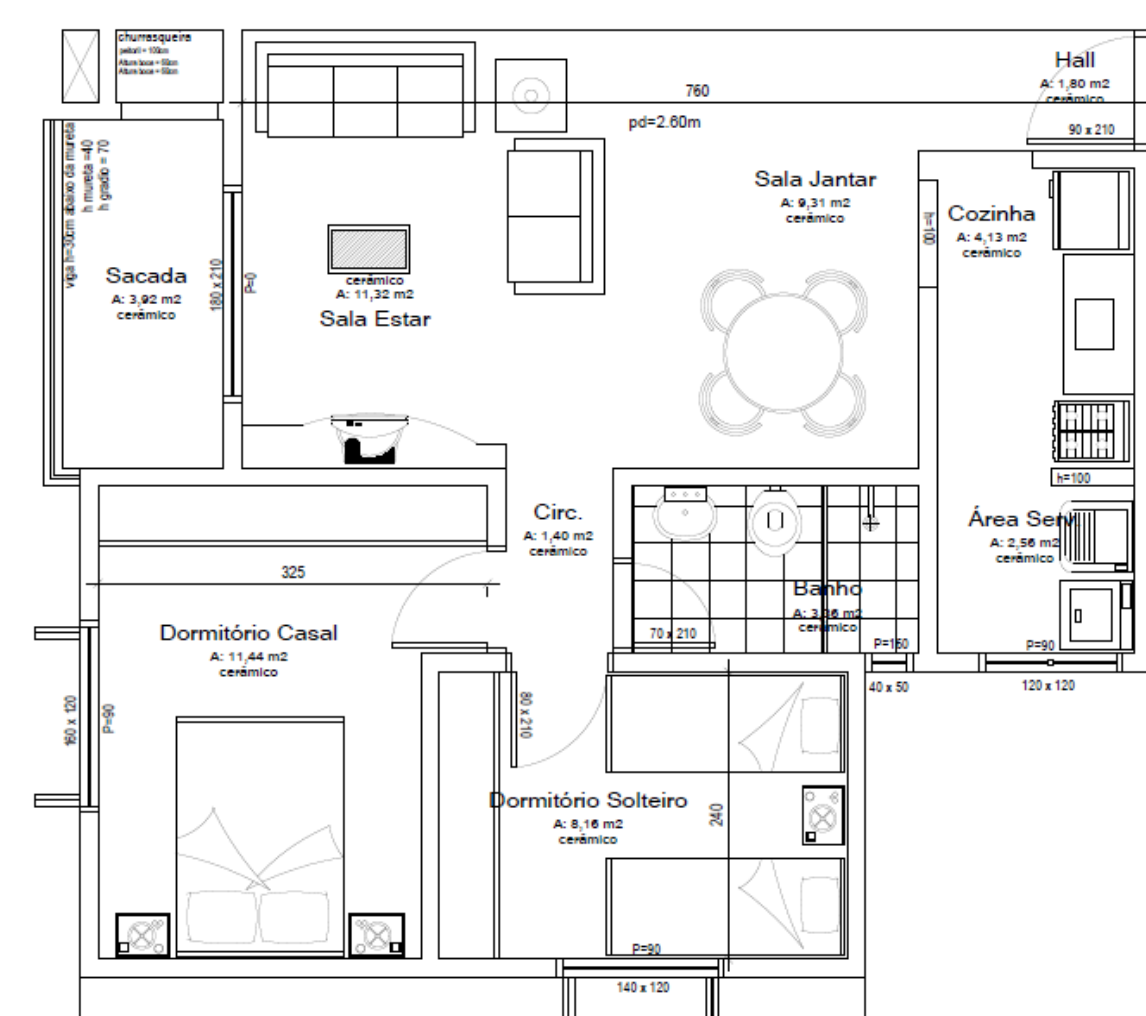
UH 201/301/401			
Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	23,7175
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	20,935
		ATFNO (m²)	9,5135
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venezianas móveis nas aberturas
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não	
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
Total de bonificações			0,56

UH 202/302/402			
Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	23,8235
		ATFL (m²)	21,0675
		ATFNO (m²)	15,5025
		Pavimento da UH	3
		Porosidade a Atender	16,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
		Bonificação	0
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venezianas móveis nas aberturas
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não
		Bonificação	0
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
		Bonificação	0,1
	Total de bonificações		

UH 203/303/403			
Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	23,7175
		ATFL (m²)	15,5025
		ATFNO (m²)	21,0675
		Pavimento da UH	3
		Porosidade a Atender	16,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
		Bonificação	0
		Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?
	Quais dispositivos?		Venezianas móveis nas aberturas
	Bonificação		0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não
		Bonificação	0
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
		Bonificação	0,1
Total de bonificações			0,56

UH 204/304/404			
Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	23,7175
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	9,5135
		ATFNO (m²)	20,935
		Pavimento da UH	3
		Porosidade a Atender	16,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
		Bonificação	0
		Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?
	Quais dispositivos?		Venezianas móveis nas aberturas
	Bonificação		0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não
		Bonificação	0
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
		Bonificação	0,1
Total de bonificações			0,56

APÊNDICE C – Variável de profundidade de cada APP



$$P \leq 2,4 \times ha$$

P: Profundidade

ha: distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo caixilhos.

Dormitório de casal

$$P \leq 2,4 \times ha$$

$$3,25 \leq 2,4 \times 1,90$$

$$3,25 \leq 4,56 \rightarrow \text{OK!}$$

Dormitório de solteiro

$$2,40 \leq 2,4 \times 1,90$$

$$2,40 \leq 4,56 \rightarrow \text{OK!}$$

$$P \leq 2,4 \times ha$$

Sala de estar/jantar

$$P \leq 2,4 \times ha$$

$$7,60 \leq 2,4 \times 1,90$$

$$7,60 > 4,56 \rightarrow \text{NÃO OK!}$$

APÊNDICE D – Cálculos da transmitância e capacidade térmica do tijolo maciço

TIJOLO MACIÇO						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Seção 2	0,0900	0,1900			0,0171	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Composição	Reboco + Argamassa + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa	2000	1,15	1	0,04	0,113	260,00
Reboco	2000	1,15	1	0,09		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,09000	0,19			0,0171	
Composição	Reboco + Tijolo + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Reboco	2000	1,75	1	0,04	0,1348	212,48
Tijolo	1600	0,9	0,92	0,09		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Tijolo maciço	0,16	0,13	0,04	0,3	3,32	218,26

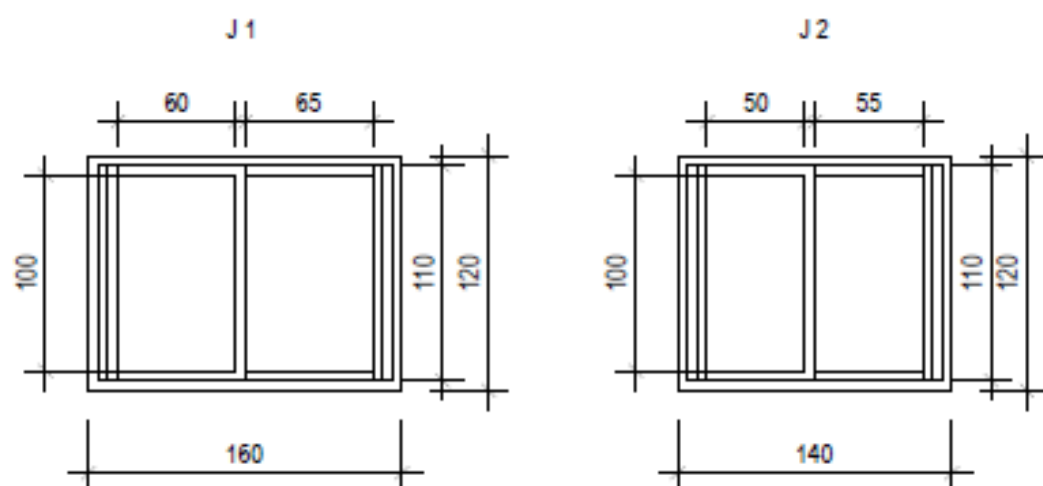
VIGA DE CONCRETO						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1	0,0100	0,1900			0,0019	
Seção 2	0,0400	3,9500			0,1580	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0019	
Composição	Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,0348	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,04000	3,95			0,1580	80,00
Composição	Reboco + Viga + Reboco					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Reboco	2000	1,75	1	0,04	0,0862	296,00
Viga de concreto	2400	1,75	1	0,09		

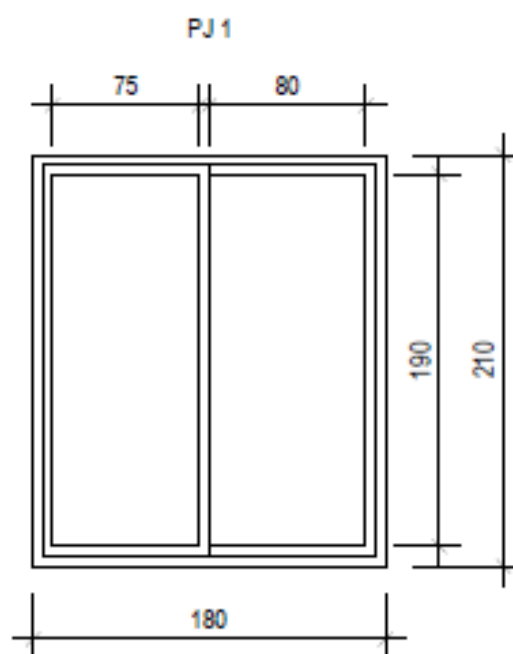
	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Viga de concreto	0,16	0,13	0,04	0,08	3,93	286,80

APÊNDICE E – Abertura para iluminação e ventilação natural



$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 1,60 \times 1,20 = 1,92 \text{ m}^2 \\ A_{\text{iluminação}} &= (0,60 + 0,65) \times 1,00 = 1,25 \text{ m}^2 \\ A_{\text{ventilação}} &= 0,60 \times 1,10 = 0,66 \text{ m}^2 \\ F_{\text{vent}} &= 0,66 \times 100 / 1,92 = 34,375\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 1,40 \times 1,20 = 1,68 \text{ m}^2 \\ A_{\text{iluminação}} &= (0,50 + 0,55) \times 1,00 = 1,05 \text{ m}^2 \\ A_{\text{ventilação}} &= 0,50 \times 1,10 = 0,55 \text{ m}^2 \\ F_{\text{vent}} &= 0,55 \times 100 / 1,68 = 32,738\% \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 1,80 \times 2,10 = 3,78 \text{ m}^2 \\ A_{\text{iluminação}} &= (0,75 + 0,80) \times 1,90 = 2,945 \text{ m}^2 \\ A_{\text{ventilação}} &= 0,75 \times 1,90 = 1,425 \text{ m}^2 \\ F_{\text{vent}} &= 1,425 \times 100 / 3,78 = 37,698\% \end{aligned}$$

APÊNDICE F – Planilha de análise da eficiência energética da envoltória

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	AP 201 E 301 DORMITÓRIO CASAL	AP 201 E 301 SALA DE ESTAR/JANTAR	AP 201 E 301 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	0,00	0,00	0,00
	CTcob	kJ/m².K	1,00	1,00	1,00
	αcob	adimensional	0,00	0,00	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	7,16	1,59	7,33
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	8,55	3,91	0,00
	OESTE	m²	0,00	2,76	4,68
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00	1,68
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	1,92	3,78	0,00
	OESTE	m²	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,9678	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	6,76	6,74
		Atende % mínima?	não	não	não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	AP 202 E 302 DORMITÓRIO CASAL	AP 202 E 302 SALA DE ESTAR/JANTAR	AP 202 E 302 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	0,00	0,00	0,00
	CTcob	kJ/m².K	1,00	1,00	1,00
	αcob	adimensional	0,00	0,00	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	7,02	3,73	9,14
	LESTE	m²	8,55	3,91	0,00
	OESTE	m²	0,00	8,61	4,68
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	0,00	1,44	0,00
	LESTE	m²	1,92	3,78	0,00
	OESTE	m²	0,00	0,00	1,68
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,84
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	10,29
		Atende % mínima?	não	não	sim
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	AP 203 E 303 DORMITÓRIO CASAL	AP 203 E 303 SALA DE ESTAR/JANTAR	AP 203 E 303 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	0,00	0,00	0,00
	CTcob	kJ/m².K	1,00	1,00	1,00
	αcob	adimensional	0,00	0,00	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	7,16	3,73	9,01
	LESTE	m²	0,00	8,61	4,68
	OESTE	m²	8,55	3,91	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	0,00	1,44	0,00
	LESTE	m²	0,00	0,00	1,68
	OESTE	m²	1,92	3,78	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envolvória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	AP 204 E 304 DORMITÓRIO CASAL	AP 204 E 304 SALA DE ESTAR/JANTAR	AP 204 E 304 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	0,00	0,00	0,00
	CTcob	kJ/m².K	1,00	1,00	1,00
	αcob	adimensional	0,00	0,00	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	7,16	3,33	7,33
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00	2,76	6,36
	OESTE	m²	8,55	3,91	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	1,44	1,68
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m²	1,92	3,78	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	COBERTURA 401 DORMITÓRIO CASAL	COBERTURA 401 SALA DE ESTAR/JANTAR	COBERTURA 401 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,79	1,79	1,79
	CTcob	kJ/m².K	180,00	180,00	180,00
	αcob	adimensional	0,59	0,59	0,59
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	7,16	1,59	7,33
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	8,55	3,91	0,00
	OESTE	m²	0,00	2,76	4,68
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	1,44	1,68
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	1,92	3,78	0,00
	OESTE	m²	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	COBERTURA 402 DORMITÓRIO CASAL	COBERTURA 402 SALA DE ESTAR/JANTAR	COBERTURA 402 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,79	1,79	1,79
	CTcob	kJ/m².K	180,00	180,00	180,00
	αcob	adimensional	0,59	0,59	0,59
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	7,02	3,73	9,14
	LESTE	m²	8,55	3,91	0,00
	OESTE	m²	0,00	8,61	4,68
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	0,00	1,44	0,00
	LESTE	m²	1,92	3,78	0,00
	OESTE	m²	0,00	0,00	1,68
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	COBERTURA 403 DORMITÓRIO CASAL	COBERTURA 403 SALA DE ESTAR/JANTAR	COBERTURA 403 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,79	1,79	1,79
	CTcob	kJ/m².K	180,00	180,00	180,00
	αcob	adimensional	0,59	0,59	0,59
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	7,16	3,73	9,01
	LESTE	m²	0,00	8,61	4,68
	OESTE	m²	8,55	3,91	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m²	0,00	1,44	0,00
	LESTE	m²	0,00	0,00	1,68
	OESTE	m²	1,92	3,78	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envolvória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	COBERTURA 404 DORMITÓRIO CASAL	COBERTURA 404 SALA DE ESTAR/JANTAR	COBERTURA 404 DORMITÓRIO SOLTEIRO
	Área útil do APP	m²	11,44	30,52	8,16
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,79	1,79	1,79
	CTcob	kJ/m².K	180,00	180,00	180,00
	αcob	adimensional	0,59	0,59	0,59
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,20	2,22	2,20
	CTpar	kJ/m².K	202,35	203,25	202,66
	αpar	adimensional	0,36	0,36	0,36
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	7,16	3,33	7,33
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00	2,76	6,36
	OESTE	m²	8,55	3,91	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	1,44	1,68
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m²	1,92	3,78	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,34	0,38	0,33
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	18,86	70,03	13,69
	Pé Direito	m	2,65	2,65	2,65
	C altura	adimensional	0,232	0,087	0,325
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K	3,53	3,53	3,53

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	202,65	206,04	202,66
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	Sim	Sim	Sim
		O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		29,12	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,25	2,945	1,05
		Ai/Auamb (%)	10,93	10,11	12,87
		Atende 12,5%?	não	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,66	1,425	0,55
		Av/Auamb (%)	5,77	4,89	6,74
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	TIPO CAMARÃO	JANELA DE CORRER 2 FOLHAS COM PERSIANA INTEGRADA	TIPO CAMARÃO
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			
		Atende?	Sim	Sim	Sim

APÊNDICE G – Planilha de pré-requisitos da envoltória

UH 201/301/401			
Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	3,32
		Área Aberturas orientação Sul	0
		Área Aberturas orientação Leste	5,7
		Área Aberturas orientação Oeste	0
		A1	5,7
		A2	3,32
		A2/A1	0,58245614
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?	Sim

UH 202/302/402			
Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	0
		Área Aberturas orientação Sul	1,64
		Área Aberturas orientação Leste	5,7
		Área Aberturas orientação Oeste	1,68
		A1	5,7
		A2	3,32
		A2/A1	0,58245614
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?	Sim

UH 203/303/403			
Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	0
		Área Aberturas orientação Sul	1,64
		Área Aberturas orientação Leste	1,68
		Área Aberturas orientação Oeste	5,7
		A1	5,7
		A2	3,32
		A2/A1	0,58245614
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?	Sim

UH 204/304/404			
Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	3,32
		Área Aberturas orientação Sul	0
		Área Aberturas orientação Leste	0
		Área Aberturas orientação Oeste	5,7
		A1	5,7
		A2	3,32
		A2/A1	0,58245614
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	1
		Nº Banheiros com ventilação natural	1
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?	Sim

APÊNDICE H – Cálculos da transmitância e capacidade térmica de cada bloco cerâmico estrutural com a adição da camada de lã de vidro

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL 14x29x19 COM ADIÇÃO DE 3,0 CM DE LÃ DE VIDRO						
Numero Seção	C	H			A (m ²)	
Seção 1					0,0049	
Seção 2	0,0144	0,19			0,0027	
Seção 3	0,0160	0,19			0,0030	
Seção 4	0,0250	0,19			0,0048	
Seção 5	0,0140	0,19			0,0027	
Seção 6	0,0256	0,19			0,0049	
Seção 7	0,0100	0,19			0,0019	

Composição	C	H			A (m ²)	
Seção 1					0,0049	
Composição	Reboco + Argamassa + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,8232	362,10
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,14		

Composição	C	H			A (m ²)	
Seção 2	0,01440	0,19			0,0027	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,857	288,18
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,14		

Composição	C	H			A (m ²)	
Seção 3	0,01600	0,19			0,0030	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	1,3625	163,06
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,055		
Rar				0,085		

Composição	C	H			A (m ²)	
Seção 4	0,02500	0,19			0,0048	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	1,2	146,87
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,033		
Rar				0,107		

Composição	C	H			A (m ²)	
------------	---	---	--	--	---------------------	--

Seção 5	0,0140	0,19			0,0027	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,9558	193,97
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,076		
Rar				0,064		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 6	0,0256	0,19			0,0049	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Ar + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	1,227	142,45
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,041		
Rar				0,099		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 7	0,0100	0,19			0,0019	
Composição	Reboco + Bloco + Ar + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,9781	236,66
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,105		
Rar				0,035		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram Est. 14x29x19	1,04	0,13	0,04	1,21	0,82	185,81

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL "U" COM ADIÇÃO DE 3,0 CM DE LÃ DE VIDRO						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1	0,0100	0,2900			0,0029	
Seção 2	0,2900	0,1900			0,0551	
Seção 3	0,2900	0,025			0,0073	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Composição	Reboco + Argamassa + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,8058	288,18
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,2900	0,19			0,0551	
Composição	Reboco + Bloco + Concreto + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,8084	371,70
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		

Concreto	2400	1,75	1	0,09		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,05		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 3	0,2900	0,025			0,0073	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,857	306,10
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,14		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram "U"	0,81	0,13	0,04	0,98	1,02	358,54

BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL "CANALETA L" COM ADIÇÃO DE 3,0 DE LÃ DE VIDRO						
Numero Seção	C	H			A (m²)	
Seção 1	0,0100	0,2900			0,0029	
Seção 2	0,2900	0,1900			0,0551	

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 1					0,0029	
Composição	Reboco + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Rt	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,857	288,18
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Bloco	1600	0,9	0,92	0,14		

Composição	C	H			A (m²)	
Seção 2	0,2900	0,19			0,0551	
Composição	Reboco + Bloco + Concreto + Bloco + Reboco + Lã de vidro					
Material	ρ	λ	c	e	Ri	CT
Argamassa Reboco	2000	1,15	1	0,04	0,8084	371,70
Lã de vidro	100	0,035	0,7	0,03		
Concreto	2400	1,75	1	0,09		
Bloco Estrutural Cerâmico	1600	0,9	0,92	0,05		

	Rt	Rse	Rsi	RT	U	CT
Bloco Ceram "CANALETA L"	0,83	0,13	0,04	1,00	1,00	336,84

APÊNDICE I – Dimensionamento de sistema de aquecimento solar

Pessoas/dormitório	4	peçoas
N _{total} pessoas na edificação	48	peçoas
Volume/pessoa/dia	50	litros/pessoa/dia
V _{consumo}	2.400	litros/dia
T _{consumo}	40	°C
T _{armaz}	60	°C
T _{ambiente}	22	°C
V _{armaz}	1.137	litros
V _{água armazenada}	4.000	litros

Mês	N (dias/mês)	T _{AF} (°C)	DE _{mês} (kWh/mês)
Jan	31	25,0	1.294,56
Fev	28	24,0	1.247,23
Mar	31	24,0	1.380,86
Abr	30	23,0	1.419,84
Mai	31	21,0	1.639,78
Jun	30	20,0	1.670,40
Jul	31	20,0	1.726,08
Ago	31	20,0	1.726,08
Set	30	21,0	1.586,88
Out	31	23,0	1.467,17
Nov	30	24,0	1.336,32
Dez	31	24,0	1.380,86

Mês	N (dias/mês)	H _{dia} (kWh/(m²xdia))	EI _{mês} (kWh/m²)
Jan	31	20	620,00
Fev	28	18	504,00
Mar	31	16	496,00
Abr	30	12	360,00
Mai	31	10	310,00
Jun	30	8	240,00
Jul	31	8	248,00
Ago	31	10	310,00
Set	30	12	360,00
Out	31	16	496,00
Nov	30	20	600,00
Dez	31	22	682,00

FR (τα)n	0,473	adimensional
$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n}$	0,96	
$\frac{F_R}{F_n}$	0,95	
F ^r R (τα)	0,431376	
Área disponível	60	m²
Área do coletor	2,79	m²
Nº coletores	21	
S _c	58,59	m²

Mês	DE _{mês}	EI _{mês}	EA _{mês}	D _i
	(kWh/mês)	(kWh/m²)	(kWh/mês)	
Jan	1.294,56	620,00	15.670,08	12,104559
Fev	1.247,23	504,00	12.738,26	10,213221
Mar	1.380,86	496,00	12.536,06	9,0784194
Abr	1.419,84	360,00	9.098,76	6,408296
Mai	1.639,78	310,00	7.835,04	4,778115
Jun	1.670,40	240,00	6.065,84	3,6313677
Jul	1.726,08	248,00	6.268,03	3,6313677
Ago	1.726,08	310,00	7.835,04	4,5392097
Set	1.586,88	360,00	9.098,76	5,7337386
Out	1.467,17	496,00	12.536,06	8,5443948
Nov	1.336,32	600,00	15.164,59	11,348024
Dez	1.380,86	682,00	17.237,09	12,482826

$F_R U_L$	3,765
$\frac{F'_R}{F_R}$	0,95
$F'_R U_L$	0,00357675

 $W/(m^2.K)$

S_c	58,59
$V_{\text{água armazenada}}$	4.000
T_{ACS}	40
$FR(\tau\alpha)_n$	0,473
$F'R(\tau\alpha)$	0,431376

m^2
litros
 $^{\circ}C$

Mês	$DE_{\text{mês}}$	T_{AMB}	T_{AF}	Δt	K_1	K_2	$EP_{\text{mês}}$	D_2
	(kWh)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(horas)			(kWh)	
Jan	1.294,56	25,0	25,0	744	1,023	1,297	15531,16	11,99
Fev	1.247,23	24,0	24	672	1,023	1,260	13806,12	11,06
Mar	1.380,86	22,0	24	744	1,023	1,287	16025,99	11,60
Abr	1.419,84	19,0	23	720	1,023	1,277	15987,88	11,2
Mai	1.639,78	16,0	21,0	744	1,023	1,223	16399,50	10,00
Jun	1.670,40	15,0	20	720	1,023	1,190	15632,60	9,358
Jul	1.726,08	15,5	20	744	1,023	1,183	15968,52	9,251
Ago	1.726,08	16,0	20	744	1,023	1,177	15783,37	9,144
Set	1.586,88	18,0	21,0	720	1,023	1,196	15153,73	9,549
Out	1.467,17	21,5	23	744	1,023	1,244	15595,01	10,62
Nov	1.336,32	23,0	24	720	1,023	1,273	15150,64	11,33
Dez	1.380,86	22,0	24	744	1,023	1,287	16025,99	11,60

Mês	D_1	D_2	f
Jan	12,1045593	11,99725441	14,168997
Fev	10,2132219	11,06940919	7,3593388
Mar	9,07841948	11,60577154	4,7242138
Abr	6,40829610	11,26034548	1,6872545
Mai	4,77811551	10,00106495	1,1985589
Jun	3,63136779	9,358598247	1,0847988
Jul	3,63136779	9,251325777	1,0881781
Ago	4,53920974	9,144053307	1,1897517
Set	5,73373862	9,549391388	1,4416609
Out	8,54439480	10,62933096	3,8296625
Nov	11,3480243	11,33759037	11,045191
Dez	12,4828267	11,60577154	15,976117

Mês	$DE_{\text{mês}}$	f	$EU_{\text{mês}}$
	(kWh)		(kWh)
Jan	1.294,56	14,16899748	18.342,62
Fev	1.247,23	7,359338857	9.178,80
Mar	1.380,86	4,72421381	6.523,50
Abr	1.419,84	1,687254542	2.395,63
Mai	1.639,78	1,198558911	1.965,37
Jun	1.670,40	1,084798871	1.812,05
Jul	1.726,08	1,088178183	1.878,28
Ago	1.726,08	1,189751746	2.053,61
Set	1.586,88	1,441660969	2.287,74
Out	1.467,17	3,829662598	5.618,76
Nov	1.336,32	11,04051918	14.753,67
Dez	1.380,86	15,97611776	22.060,85
TOTAL	17.876,06		88.870,87

F	4,971500877
Fração solar anual	497,15%

Verificação do volume de armazenamento do projeto	
V_{armaz}	4.000
Nº coletores	21
Área do coletor	2,79
Área de coletores	58,59
$V_{\text{armaz}}/\text{área}_{\text{coletores}}$	68,27

ANEXOS

ANEXO A – Planta baixa do pavimento tipo da edificação multifamiliar analisada

